

جامعة بادجي Mokhtar - Annaba

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR ǰ ANNABA



جامعة بادجي Mokhtar - Annaba

Année 2012

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

THÈME

**Vulnérabilité, et évaluation des ressources en eau dans l'extrême
Nord-Est algérien**

Option: hydrogéologie

Présenté par

SADOUNE ABDELAZIZ
Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie

Directeur de mémoire: Pr .DERRADJI EL Fadel

Professeur (U.B.M. Annaba)

DEVANT LE JURY

Président: Pr.KHERICI N .

Pr.Univ.Badji Mokhtar -Annaba

Examineurs: Dr.HANNOUCHE MANI .

M.C. Univ.Badji Mokhtar -Annaba

Pr.BOUSNOUBRA H

Pr.Univ.Badji Mokhtar -Annaba

Résumé

Gérer efficacement et équitablement les ressources en eau est l'un des défis les plus importants auxquels la région de l'extrême (Nord-Est Algérien) doit faire face, surtout avec les enjeux liés à la gestion et l'évaluation des ressources en eau qui ne cessent à croître en importance sous le double effet de la croissance démographique et de l'augmentation des besoins par habitant. Ainsi que l'eau étant menacée par sa rareté, le gaspillage, la pollution et la grande sollicitation des secteurs agricole et industriel.

En matière de potentialité hydrique, la moyenne pluviométrique atteint respectivement 681.47 mm et 631.95 mm aux Saline et BenM'hidi, traduisant un apport globalement très important de l'ordre de 701 million de m³ par an. Ce potentiel se trouve malheureusement confronté à d'importants problèmes de gestion et de maintenance des ouvrages hydrauliques mis en place, réduisant le volume de mobilisation.

Les ressources en eau sont abondantes dans la région de l'extrême Nord-Est Algérien et sont surtout constitués par les écoulements des Oueds Kébir Est, Bounamoussa et Seybouse et leurs affluents.

En effet, ces ressources sont peu utilisées puisque sur un volume de 836 Hm³/an, seule une quantité assez limitée est emmagasinée par les barrages et quelque retenue collinaire, et le reste du volume s'écoule vers la mer.

L'établissement de la carte d'altération des eaux superficielles ainsi leurs vulnérabilités, dans des régions de l'extrême Est-Algérien a permis de classer les eaux de surface en fonction de leur degré d'altération.

L'évaluation et l'analyse situationnelle des ressources en eau devra examiner la quantité et la qualité des eaux de surface et eaux souterraines de même que le potentiel d'utilisation des sources peu usuelles émanant de l'aménagement, de la réutilisation et de la demande en eau.

Mots Clés :

Ressources en eau, potentialités hydriques, besoins, pollution, vulnérabilité, altération.

نحو تسيير فعال وعادل للموارد المائية هو واحدة من أكبر التحديات التي تواجه منطقة شمال شرق الجزائر, لا سيما مع القضايا المتعلقة بتسيير وتقييم الموارد المائية التي لا تزال في زيادة مهمة تحت التأثير المشترك للنمو السكاني وارتفاع في احتياجات الفرد, كما أن المياه مهددة بندرتها, تضييعها, تلوثها, و الطلب المستمر للقطاعين الزراعي والصناعي.

من حيث إمكانات المياه, بلغ معدل التساقط 681.47 مم و 631.95 مم بكل من محطتي المالحه و ين مهدي على التوالي, و هو ما يعكس مساهمة عموما مهمة جدا نحو 701 مليون متر مكعب سنويا. لكن للأسف تواجه هذه الإمكانيات المائية عدة مشاكل في تسيير وصيانة المنشآت المائية المنجزة مما يقلل من حجم التعبئة لهذه الأخيرة .

موارد المياه وفيرة في منطقة شمال شرق الجزائر, تتمثل أساسا في تدفقات كل من وادي الكبير شرق, وادي بوناموسة, وادي سييوس وروافدهم.

في الواقع, هذه الموارد محدودة الإستعمال لأن من أجل حجم 836 هم³, لا يتم تخزين سوى كمية قليلة عن طريق السدود و بعض الحواجز المائية, والباقي يتدفق إلى البحر

إنجاز خريطة التغيير للمياه السطحية ونقاط ضعفها, في مناطق أقصى الشرق الجزائري, سمح بتصنيف المياه السطحية وفقا لدرجة التغيير.

التقييم والتحليل لحالة الموارد المائية يتطلب دراسة كمية ونوعية المياه السطحية والجوفية, فضلا عن إمكانات استخدام مصادر غير تقليدية تتأتى من التهيئة, إعادة الاستعمال و الطلب على المياه.

الكلمات المفتاحية : الموارد المائية, الإمكانيات المائية, الاحتياجات , التلوث , حساسية التلوث و التغيير.

Abstract

Effectively and equitably manage water resources is one of the biggest challenges facing the region of Annaba to the Tunisian border (Northeast Algeria) faces, especially with issues related to the management and evaluation of water resources that continue to grow in importance under the combined effect of population growth and rising per capita needs. as the water is threatened by its scarcity, waste, pollution and high stress areas agriculture and industry.

In terms of water potential, the average rainfall respectively reached 681.47 mm 631.95 mm and the Saline BenM'hidi, reflecting an overall very important contribution of around 701 million m³ per year. This potential is unfortunately faced with major problems of management and maintenance of hydraulic structures in place, reducing the amount of mobilization.

Water resources are abundant in the region of the north-eastern Algeria and is mainly constituted by flows of Wadi Kebir east and Bounamoussa Seybouse and their tributaries.

Indeed, these resources are not used as a volume of 836 Hm³/yr, only a very limited amount is stored by dams and some dams, and the rest of the volume flows to the sea

The establishment of the map of alteration of surface water and their vulnerabilities, in regions of the Far East-Algerian allowed to classify surface waters according to their degree of weathering.

The assessment and situational analysis of water resources shall examine the quantity and quality of surface water and groundwater as well as the potential for using unconventional sources from the development, reuse and water demand.

Liste des Figures

Fig.1. Situation géographique et géologique des plaines de la région d'Annaba-Bouteldja (D'après Strojexport, 1975, modifié par Pr.A.HANI 2002).....	7
Fig.2. Situation géographique du massif de l'Edough. (D'après Hilly, 1962 modifiée)	8
Fig.3. Colonne lithologique du massif de l'Edough (D'après Aissa D.E.1985)	9
Fig.4. Carte géologique du Nord-Est Algérien. (Hilly, 1962)	12
Fig.5. Esquisse structurale des plaines de Annaba-Bouteldja (Sonatrach, 1969, Hani 2003)	13
Fig.6. Bloc diagramme au travers de la plaine de Annaba.....	14
Fig.7. l'ensemble de ces horizons aquifères successivement de l'Ouest vers l'Est.....	16
Fig. 8.A. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles aux stations des Salines et de Ben M'Hidi (1979/06).....	23
Fig. .8.B. Histogramme des températures moyennes mensuelles aux stations des Salines et de BenM'Hidi (1983/10).....	23
Fig. 10 . Diagramme pluvio – thermique de la station de Ben M'hidi (83/10).....	26
Fig.11 .Représentation graphique du bilan de Thornthwaite de la St des Salines (1983/84 – 2009/10)	29
Fig.12. Représentation graphique du bilan de Thornthwaite de la St de Ben M'hidi (1983/84 – 2006/10)	29
Fig.13. Localisation des dispositifs des pompages d'essai dans la région d'Annaba – Bouteldja.....	33
Fig. 14 A - B – Pompage d'essai dans la nappe des graviers dans la région de Dréan-.....	33
Fig. 14C – Pompage d'essai dans l'aquifère Sableux de Bouteldja	35
.Fig. 14D – Pompage d'essai dans l'aquifère des graviers dans le secteur central de la plaine d'Annaba.....	36

Fig. 14 E-F – Pompage d’essai dans la nappe des graviers dans le secteur ouest d’El-Hadjar. E)	36
Fig. 15. Carte des Transmissivités krigées	37
Fig. 16. Cercle ACP des eaux souterraines (Eléments majeurs).....	41
Fig. 17. Faciès chimiques des eaux souterraines (Mars 2010).....	41
Fig. 18. Cercle ACP des eaux de surface (Eléments majeurs).....	45
Fig.19.Faciès chimiques des eaux de surface (Mars 2010	46
Fig. 20. Localisation géographique des onze sources dans le massif dunaire de Bouteldja..	48
Fig.21 .Evolution du pH des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja.....	49
Fig.22.Evolution de la conductivité électrique des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja	50
Fig. 23 .Evolution de la température des eaux dansle massif dunaire de Bouteldja	50
Fig.24. Evolution de l’oxygène dessous des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja.....	51
Fig. 25 . Evolution du résidu sec des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja	52
Fig.26.Digramme de Stiff.....	
Fig.27 .Représentation graphique des indices d’altération des sources d'eau dans le massif dunaire Bouteldja	57
Fig.28. Etablissement de la carte d’altération des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja.....	58
Fig.29 . Etablissement de la carte des périmètres de protection des forages dans le massif dunaire de Bouteldja.....	61
Fig.30 .Réserves Renouvelable de l’ensemble du système aquifère Annaba-EL Tarf.....	66
Fig. 31. Distribution des réserves Régulatrices par Système Aquifère	67
Fig. 32. Répartition des volumes d’eau prélevée par type de formation aquifère	67
Fig.33.Apports Annuels des Oueds des Nord-Est Algérien.....	69
Fig. 34. Ressources hydrique totales dans l’extrême Nord-Algérien	70

Liste des Tableaux

Tableau.9. Coefficient pluviométrique des stations des Salines et de Ben M'hidi (1983/2010).....	26
Tableau.1. Coordonnées géographiques des stations météorologiques.....	18
Tableau 2 . Températures moyennes mensuelles en °C (1983/2010)	19
Tableau .3 . Températures moyennes annuelles en °C (1983/10).....	20
Tableau .4 . Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de l'humidité relative de l'aire à la station des Salines en % (1980/2010)	20
Tableau .5. Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de la vitesse des vents à la station des Salines en m/s (1980/2010).....	20
Tableau .6 . Précipitations moyennes mensuelles en mm (1983/2010).....	21
Tableau .7 .Précipitations moyennes annuelles en mm (1983/2010).....	22
Tableau .8. Indice d'aridité annuelle (D'après la formule DE.MARTONNE).....	24
Tableau .10. Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite pour la station de Ben M'hidi (1980 - 2010).....	28
Tableau .11. Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite pour la station de Ben M'hidi (1980 - 2010).	28
Tableau .12. Résultats de deux pompages d'essai effectués dans la nappe phréatique.....	31
Tableau .13 . Estimation des Transmissivités de la nappe phréatique (m ² .s-).....	32
Tableau .14. Résultats du pompage effectué dans le secteur central de la plaine d'Annaba.....	34
Tableau. 15. Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux souterraines	40
Tableau .16 . Variations du Potassium et des Sulfates entre les mois de Janvier et Mars 2010...	42
Tableau .17. Matrice de corrélation des eaux souterraines	43
Tableau .18. Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux de surface.....	44

Tableau .19. Matrice de corrélation des eaux de surface.....	45
Tableau .20 . Formule ionique et faciès chimique des eaux des sources réparties dans le massif dunaire de Bouteldja (année 2010).....	53
Tableau. 21. Classification des concentrations des éléments chimiques par classes (D'après l'OMS	55
Tableau. 22. Concentrations des éléments chimiques des sources eaux dans le massif dunaire de Bouteldja (2006/10).....	56
Tableau. 23.Calcul de l'indice d'altération et la classification des points d'eau par classes d'altération.....	57
Tableau .24. Les réserves Renouvelables dans l'extrême N-E Algérien	65
Tableau .31: Apport annuel des oueds dans la wilaya ANNABA-EL TARF.....	72
Tableau .32 : Ressources Hydrique Totales dans l'extrême Nord-Est Algérien.....	73

CHAPITRE I : CADRE GENERAL

I-SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	1
1-Situation régional	1
II-Aperçu Socio-économique.....	1
1- Agriculture.....	2
2-Industrie.....	2
3-Tourisme.....	2
III-ASPECT GEOMORPHOLOGIQUE.....	2
Introduction.....	2
I-Principales formes.....	2
1-bassins versants.....	2
2-zone de s plaines	3
3-les montagnes.....	3
4-zone des marécages.....	4
IV-APPORT DU CONTEXTE GEOLOGIQUE, STRUCTURAL ET GEOMETRIQUE.....	4
1-Introduction.....	4
2. Cadre géologique régional.....	6
3-Cadre litho stratigraphique.....	9
3.1. Le complexe cristallophyllien.....	9
3.2. l'unité de base.....	9
3.3. L'unité intermédiaire.....	9
3.3.1. Les micaschistes.....	9
3.3.2. Le marbre	9
3.4. L'unité supérieure (série des alternances)	10
4. Les roches ignées.....	10
4.1. Le groupe microgranitique.....	10
4.2. Le groupe rhyolitique.....	10
4.3. Le groupe dioritique.....	10
4.4. Le groupe andésitiques.....	10
5. Les terrains sédimentaires	10
5.1. Les flyschs ou grès numidiens.....	11
5.2. Les flyschs sénoniens.....	12
5.3. Le Mio-Pliocène.....	12
5.4 Quaternaire.....	12

a. Quaternaire ancien (haute terrasse).....	12
b. Quaternaire moyen.....	13
c. Quaternaire récent.....	13
d. Quaternaire actuel.....	13
4 .Cadre structural.....	14
4.1-Caractéristiques géométriques du système aquifère	17
CONCLUSION	19

CHAPITRE II : HYDROCLIMATOLOGIE

INTRODUCTION	20
II- Climatologie de la zone d'étude	
II. Type de climat	20
III -Facteurs climatiques	21
III.1. Températures.....	21
a-Températures moyennes mensuelles: (TMM).....	21
-Températures moyennes annuelles: (TMA).....	21
2-L'humidité relative de l'air :(Station des salines).....	22
3-La vitesse des vents: (Station des Salines).....	22
4-Précipitations: (P).....	23
a. Précipitations moyennes mensuelles: (PMM).....	23
4.2. Précipitations moyennes annuelles: (PMA).....	24
5. Caractéristiques climatiques d'aridité:.....	26
6-Coefficient pluviométrique: (H).....	26
V-Courbe pluvio - thermique:	27
V.1.Type de climat.....	28
V.2. Calcul du bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite.....	29
V.3. Interprétation du bilan de Thornthwaite.....	29
V4. Conclusion.....	30

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE

I- caractéristiques hydrodynamiques du système aquifère d'Annaba-Bouteldja.....	33
Introduction.....	33
II-interprétation des données de pompage d'essai.....	33
II.1- la nappe superficielle.....	33
II.2- les nappes des graviers et des sables dunaires.....	34
II.1 . Analyse et identification des modalités de transferts hydrauliques.....	35
II.2- cartographie des Transmissivités.....	38
II.3- conclusions.....	40

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

Introduction.....	41
1-Cas de Région d'Annaba.....	42
1.1. Les eaux souterraines la région du lac Fedzara.....	42
1.1. 1 .Eléments majeurs.....	42
a. Statistiques élémentaires.....	42
b. Analyse en composantes principales.....	43
b.1. Observation du cercle ACP.....	43
b.2. Matrice de corrélation.....	44
I.2. Les eaux de surface.....	46
I.2.1. Eléments majeurs	
1.2.1.1. Statistiques élémentaires.....	46
2.1.1.2. Matrice de corrélation.....	46
1.2.1.3. Observation du cercle ACP.....	47
Conclusion.....	49
2-Cas de la région d'EL TARF	
2.1. La chimie des eaux	
2 .1.1.Introduction :	
2.1.2.Mode d'échantillonnage et acquisition des données.....	50
2.1.3. Etudes des paramètres physiques	51
a. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	51

b. La Conductivité électrique (CE).....	51
c. La Température (T).....	52
2.1.4. Etude des paramètres chimiques.....	53
a. Oxygène dessous (O ₂).....	53
b. Résidu sec (Rs).....	53
c. Les ions majeurs	54
2.1.5. Faciès chimiques	54
2.2. Qualité des eaux	57
2.2.1. Degré d'altération des eaux des naturelles	57
a. Classification des éléments chimiques par classes d'altération	57
b. Calcul des indices d'altération (I.A)	58
2.2.2. Etablissement de la carte d'altération des eaux des sources.....	60
2.2.3. Périmètres de protection des eaux naturelles	60
2.2.4. Types de périmètres de protection.....	61
2.2.4.1. Le périmètre de protection immédiate	61
2.2.4.2. Le périmètre de protection rapprochée	61
2.2.4.3. Le périmètre de protection éloignée.....	61
2.3. Vulnérabilité des eaux.....	61
2.3.1. Méthode de vulnérabilité des eaux.....	61
2.3.2. Calcul de la limite du périmètre de protection.....	62
2.3.3. Etablissement de la carte des périmètres de protection.....	63
2.4. L'effet de l'homme sur la qualité des eaux.....	64
Conclusion.....	65

CHAPITRE VII : EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU

Introduction	68
I- ressources en eaux souterraines.....	68
II-ressources en eau de surface.....	72
III-évaluation hydrogéologique des ressources hydriques.....	74
1-Région EL-TARF.....	74
2-Région d'Annaba.....	77
Conclusion.....	78

Remerciement

Au mon Dieu Le Clément et Le Miséricordieux, le grand merci Lui revient de nous avoir à élaborer ce mémoire de dissertation scientifique.

La réalisation de ce travail n'aurait pu menée à terme sans le support constant de mon directeur de mémoire Pr .DERRADJI.L. Je désire lui adresser un merci tout particulier, ses précieux commentaires, et ses conseils pertinents m'ont grandement aidé tout au long des différentes étapes inhérentes au processus de recherche et à l'élaboration de ce mémoire.

Je voudrais également remercier les membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter, et débattre mon mémoire.

Je remercie toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Tous les directeurs d'institutions et administrations des wilayas d'Annaba, El-Tarf.

Je voudrais remercie encore mes enseignants du département de Géologie de l'université d'Annaba, et mes collègues de la promotion de Poste Graduation hydrogéologie 2011.

Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tous.

sadoune abdelaziz

DEDICACE

A :

-Mon père et ma mère, Rabi yerhamha inchalah

-Mes frères et mes sœurs, mes nièces et neveu : Asma, Riheb et Mohamed.

-Tout les gens qui j'aime et qui m'aiment

Je dédie ce Travail.....

Référence Bibliographiques

- ABH** :(Agence de bassin hydrographique) Constantinois-Seybouse-Mellegue 2009.
- ADE** : (Algérienne des eaux) Etat des forages (2009).
- A.G.E.P** (Agence Nationale de l'eau potable et industrielle et de l'assainissement) :l'évaluation de la qualité des ressources hydriques destinées à l'AEP dans le bassin versant (1998).Rapport inédit.
- Aoun Sebaiti.B** (2003) : Etude de l'origine de la salinité et modélisation du système aquifère de Annaba.Mém de Magister.84P.
- A.N.R.H** (Agence Nationale des ressources hydriques) : qualité des eaux superficielles, Résultats de 1997 -1998-2006.
- Alain Marre** : Le Tell oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne-Etude Géomorphologique .Vol. I 410 P.
- Atlas** : des 26 zones humides algériennes d'importance internationales. Edition 2004 .
- Abdesemed D .Oudini.D,** (1998).Esquisse méthodologique de planification des ressources en eaux superficielles, cas du Kébir Est. Mémoire Ingénieur, Département de Géologie .Univ. Annaba
- Aichouri.I.(2009)** :contribution à la mise en évidence de l'intrusion marine dans la plaine d'Annaba.Mem.de Magister. Univ .Annaba.
- Bachagha.a,Bessilla N**(1989) : Essai de synthèse de la carte hydrogéologique Annaba-El Kala et sa notice explicative. mém.d'ingénieur en Hydrogéologie.77 P .
- Belhannachi Aida**(2003) : Etude hydrologique et hydrochimique dans les bassins versants du Nord-Est Algérien (Bassin de la Seybouse, Kébir Est ,Kébir Ouest et Saf-Saf) Mém. Magister ,Univ .Annaba.138 P.
- B.R.G.M,** (1985) : Etude par modèle mathématique de la nappe d'Annaba-Bouteldja, 78p
- Belhamra-A**(2001) : Contrôle de la salinité des eaux du lac Fetzera jusqu'à la mer .Mém de Magistère Univ. Annaba.111 P.
- Bouasla.F.Cheref.H.Mécheiria W.**(2002) .Influence de la pollution de l'oued Seybouse sur les systèmes aquifères de Annaba_Bouchegouf .Mém d'ingénieur,Univ Annaba.

Bouare Kadidia.N-Kaberae .m(2004) : Contribution à l'étude d'aménagement Hydro-agricole du périmètre de Drean.Mém d'ingénieur Aménagement rural et milieu physique Univ. Annaba 141P

Boudoukha A,Djaffer R,Retima A,Djabri L,Soug M.(1999): Proposition de normes de potabilité des eaux domestiques pour l'Algérie du Nord. Bull International de l'Eau et de l'environnement n° 24.

Bousnoubra-H(2002) : Ressources en eaux des régions de Skikda-Annaba-El-Tarf-Guelma-Souk ahras (Nord-Est Algérien) Evaluation, gestion et perspective Vulnérabilité et protection Thèse de Doctorat d'Etat Univ. Annaba 159 P.

Bousnoubra H,Chettab N,Kherici N,Rousset (2002) :Evaluation et exploitation des ressources en eau dans le système aquifère Sud Méditerranéen .Exemple de Annaba El Tarf (Nord-Est de l'Algérie) Revue des sciences et de la technologie. Synthèse n°13.

Bounab S-Boutaba N,Abidi A(1993) : les sources de cap rosa aspect quantitative qualitative et mode de captage. Mém d'ingénieur .Univ. Annaba.

Bounaba.s.(2006) : Ressources en eaux et développement durable: cas des régions d'Annaba et El Tarf..Mém de Magister. Univ. Annaba.

Castany G, Principes et méthodes de l'hydrogéologie. DUNOD, Paris, France.237 P.

Castany G, Prospection et exploitation des eau souterraines. DUNOD, Paris, France 683 P.

Castany. G, Margat, (1977) : Dictionnaire français d'hydrogéologie. Burrech, géologie minière, 249p.

Debieche T.H.(2003) :Evolution de la qualité des eaux saline azotées et métaux lourds sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la base plaine de la Seybouse N-E Algérien. Thèse de Doctorat U.F.R des sciences et techniques de l'Univ.de France, comté. Paris. 199 P.

Derraji F.(2004) :Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région de Annaba-El Tarf (N-E Algérien) Thèse de Doctorat d'Etat Univ de Annaba.

Derraji F.Kherici N,Caruba R,Romeo M,(2003) .Evaluation de la pollution chimique par le zinc et le fer de la nappe profonde des graviers d'Annaba. Cahiers Ass.Sci,eur .eau et santé.Paris,France.Vol.8.n°1.pp .35-42 .

Djabri.L.(1996) :Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse Origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaine. Thèse de Doctorat Es Sciences. Univ. Annaba.200p

Djidel-M.(2004) :Etude hydrochimique des nappes côtières cas nappes du littoral de Annaba-El Kala (NE Algérien) Mem.de Magistère .Univ. Annaba.112p.

DHW (Direction de l'hydraulique de la wilaya d'Annaba) : Etude de diagnostic des forages existants à travers la wilaya d'Annaba. Rapport inédit 2006.

DHW d'EL Tarf : Etat des ressources .Rapport inédit.2005.

Gaud-B(1976) : Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba_Bouteldja.

Gacem.A-Reffes.M(1993) : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines dans la vallées de Oued Kébir Ouest Mém. D'ingénieur en Hydrogéologie Univ. Annaba .

Guechi-S(2004) : Impact de la pollution agricole et industrielle sur la nappe aquifère de la région de Boumaiza(Skikda).Mém de Magistère Univ. Annaba.155p.

Ghachi.A.(1982).le bassin de la Seybouse (Algérie),Hydrologie et utilisation de la ressource en eau Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Unv.de Nancy II .France.508p.

Ghenam S,Hadef H,(1996).Etablissement de la carte hydrogéologique de l'extrême Nord-Est Algérien et sa note explicative. Mém. D'ingénieur. Univ. Annaba.84p.

Hani. A. (2003) : Analyse méthodologique de la structure de des processus anthropique : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse de Doctorat d'Etat. Univ. Annaba.214p.

Hazourli S-Zahi N(2003) :La mise en valeur des terres agricoles par le biais de la concession.cas du périmètre de concession du Lac de Fetzara (Annaba) .Mém. D'ingénieur .Univ. Annaba.198p.

Joleaud. L, (1936):Etude géologique de la région de Bône-la Calle, B.S.G.A (2), n°12, 199 p.

Jourda. J.P, (1991) : Pollution des eaux souterraines en France. Bilan des connaissances. Impacts et moyens de prévention, manuels et méthode, n°22.3.éd, par BRGM 262

Kherici N. (1985).Aquifère sableux de bords de mer, hydrodynamique et hydrochimie. Exemple de la nappes de Bouteldja (Nord-Est Algérien) .Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle ,USTL, Montpellier, France,202p

Kherici.N ;(1993).Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole. Thèse de Doctorat Es Science. Univ. Annaba.202p

Khecha-S,Kribs (2000) : Contribution à l'étude du milieu physique du bassin Kébir Est .Mémoire d'ingénieur. Univ. Annaba.143p.

Labar S .(2003),Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physico-chimique des eaux stagnantes temporaire dans la vallée de la Mafragh.Mém.de Magistère, Univ. Annaba.

Lanani K,(2003).Etude des caractéristiques hydrogéologique et hydrochimique de la plaine de Annaba-Chihani.Mém.D'ingenieur,Univ ,Annaba.65p.

Lahondere. J. C, (1987) : Les séries ultra telliennes d'Algérie Nord Orientale et les formations Environnantes dans leur cadre structurale. Thèses de doctorat d'Etat. Univ Paul Sabatier, France, 242 p.

Mariotti. A, (1977) : Dénitrification in situ dans les eaux souterraines. Processus naturels provoqués. Une revue hydrogéologique n° 3 51994 43-68 p.

Mouchara. N, (2004) : Hydrogéologie du massif dunaire de Bouteldja et les possibilités de réalimentation artificielle de la nappe, mémoire d'ingénieur, hydrogéologie. Univ d'Annaba, 88 p.

Nafaa. K, (1985) : Etude hydrogéologique du système aquifère Annaba-la Mafragh. Thèse de doctorat 3eme USTL, Montpellier, 156 p.

Rouabhia. A, Kherici.N et Djabri. L, (2001) : Vulnérabilité et impact des activités anthropiques sur les eaux souterraines de la région d'El Ma El Abiod N.E de l'Algérie. Vecteur environnement. Section scientifique, volume 37, n°3, mai 2004, 26-30 p.

Saadali. B, Remita. R, (2004) : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique dans le bassin versant de la Mafragh (oued Bounamoussa et oued Kébir Est). Mém d'Ingénieur, hydrogéologie. Univ d'Annaba, 115 p.

Saadali.B.(2007).Etude de la qualité des eaux de sources issues de massif dunaire de Bouteldja Mém. Magistère. Univ. Annaba .84p.

Sedrati. N, (2006) : Vulnérabilité et impact des agglomérations sur la qualité des eaux du massif dunaire de Bouteldja. Mém de Magister. Univ d'Annaba, 106 p.

Toubal . A. C, (2002) : Anisotropie des sables éoliens de Bouteldja (Nord-Est de l'Algérie). Larhuss. Journal. N°03, juin 2004, 38-43 p.

Vila. J. M, (1978) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et ses confins algéro-tunisiens. Thèse de doctorat Es Science. Univ de Pierre et Marie Curie. Paris, 640 p.

-

Introduction générale

"L'eau est vitale à la survie, à la santé et à la dignité humaines et elle est une ressource fondamentale au développement humain. Les ressources en eau douce du monde sont sous pression croissante, déjà de nombreuses personnes manquent encore d'accès adéquat à l'approvisionnement en eau pour leurs besoins de base. La croissance de la population, une activité économique en plein essor et des niveaux de vie améliorés mènent à une concurrence accrue et à des conflits pour une ressource en eau douce limitée.

Sur notre planète Terre, l'eau douce accessible correspond à environ 10 % du volume total d'eau douce, soit environ 0,26 % de l'hydrosphère. L'eau souterraine représente la fraction de la ressource en eau la plus importante avec 96 % ; d'où l'intérêt majeur de la préserver contre toute menace de dégradation.

L'Algérie se trouve dans une région du monde la plus défavorisée en matière de disponibilité hydrique, pour cela la pénurie d'eau est devenue un problème décisif vécu par toutes les sociétés. En effet, l'accroissement des populations et le développement des agglomérations, des unités industrielles et des terres cultivées ont eu pour corollaire une dégradation de la qualité des eaux souterraines et une baisse très significative des réserves qui représentent parfois les seules ressources d'eau pour l'alimentation des populations.

A l'instar de la plupart des régions du pays, la région de l'extrême Nord-Est Algérien recèle une ressource très importante en eau souterraine et superficielle due essentiellement à la pluviométrie qui dépasse souvent 1000 mm/ et caractérisé par des grandes nappes d'eau souterraines à grande extension

Notre travail consiste à évaluer cette ressource en eau et essayer de remédier au problème de la contamination à partir des mesures sur terrain (campagnes piézométrique et hydrochimie) ainsi que l'interprétation des résultats et l'analyse des données.

Dans cette optique, il a été jugé utile d'élaborer une analyse assez exhaustive (selon les données disponibles) pour mieux appréhender les différentes facettes de ce secteur vital.

Pour mettre en évidence ce travail, le mémoire s'articule sur six (05) chapitres

→ Dans **Le premier chapitre**, une synthèse des connaissances de la région d'Annaba à la frontière tunisienne qui fournira une approche du point de vue géographique, stratigraphique, géomorphologique et géologique

- Le **deuxième chapitre**, fait le point sur l'hydrologie de surface par un traitement des données hydroclimatiques et à l'évaluation des termes du bilan hydrologiques en s'appuyant essentiellement sur les relevés pluviométriques et de température effectués en différents points du réseau de mesure.
- Le **troisième chapitre**, est une étude hydrogéologique, qui s'intéresse à la définition de la géométrie, la structure et la lithologie de la nappe (la réalisation de coupes litho-structurales du réservoir à la base des données de géophysique et des sondages mécaniques), ainsi que la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe du massif dunaire et les principaux aspects de l'écoulement des eaux souterraines.
- Le **Quatrième chapitre**, porte sur l'étude hydrochimique des eaux de surface et souterraines, ainsi que la détermination de leur faciès chimiques, et le plus important la vulnérabilité des eaux.
- Enfin le **Cinquième chapitre**, partie spéciale du mémoire « évaluation des ressources en eau dans l'extrême Nord-Est Algérien» y compris l'estimation des eaux souterraine et eaux de surface, Il est donc nécessaire de chercher à évaluer les disponibilités en eaux mobilisables et de voir les possibilités de leur utilisation rationnelle dans région étudié.

1-SITUATION GEOGRAPHIQUE

La région d'étude est située dans le Nord –Est algérien elle comprend deux wilaya et 36 communes, répartis sur une superficie d 4410 Km², couvrant les wilayas d'ANNABA et EL-TARF.

Elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, au sud par les wilayas de Guelma et Souk Ahras, à l'Est par la frontière algéro-tunisienne et à l'ouest par les la wilaya de Skikda.

1-Situation régional

La wilaya d'EL-TARF : s'étend sur une superficie de 2998 Km²

Population 2005 estimée 420246 habitants

Population 2025 estimée 6615543 habitants

Nombre de Daïras 07

Nombre de commune 24

Les répartitions des communes comme suit :

*19communes sont entièrement incluses dans les bassins Côtiers Constantinois –Est

*02 communes sont entièrement incluses dans le bassin de la Seybouse

03 communes chevauchent sur les deux bassins 14 et 03

-Nombre d'agglomération 89 (sont des zones épars)

Littoral 90 km

Zones humides 04 dont ; 03 classés convention RAMSAR (lac Oubeira, lac oiseaux, lac Tonga),

01 lac non classés : lac Mellah

Faune et flore très diversifié

La wilaya d'ANNABA : s'étend sur une superficie de 1412km

Population 2005 estimée 559896 habitants

Population 2025 estimée 849211 habitants

Nombre de Dairas 05, et les communes 12

Il existe 17 communes qui chevauchent sur les deux bassins (Seybouse, Constantinois Centre)

*une commune (Elbouni) chevauche sur les deux bassins (Seybouse, Constantinois Est)

04 communes incluses dans le bassin constantinois centre

Le littoral 50 km

Zone humide 01 (lac Fetzera)

II-Aperçu Socio-économique

la réussite d'un développement socio-économique est tributaire de la disponibilité en eau, l'eau dans la région d'étude est assez disponible pour permettre le soutien des activités socio-économique.

1- Agriculture

Elle est caractérisé par une très grande variété de culture (agrumes, poiriers, pêches, grenadiers, néfliers, cognassiers, sorgho, tomates industrielle, melons, pastèques, et autre cultures maraichers) arrosées à l'aide d'un réseau d'irrigation.

La région se trouve à proximité de la mer méditerrané .compte tenu de cette situation, la pêche constitue une activité prédominante.

2-Industrie

elle occupe dans la région une place importante, il ya l'industrie lourde (Sider, ESPAT,SNM (Société national de métal) SNVI(Société nationale des véhicules industrielles)

-industrie pétrochimique(ASMIADAL)

-industrie agro-alimentaire (Orelait) ainsi que de nombreuse (PMI) (Petites et moyennes industries) concentré autour d'ANNABA, notamment pour la valorisation des produits miniers, sidérurgique.

3-Tourisme

Le potentiel touristique apparait à travers de nombreux sites riches et variés : un littoral de 90 km de long, pour la wilaya d'EL-TARF et 50km de long pour la wilaya d'Annaba

-divers sites de zones humides (lacs, étangs, marais, deltas, oueds, barrages, source....)

-des forets immenses qui couvrent 58% du territoire de la wilaya d'EL-TARF

La population urbaine est agglomérée dans la région d'ANNABA et El-TARF est de 970142 habitant en 2005, cette population est fortement concentré dans les agglomérations les plus importantes (Chef lieu de la wilaya, des dairas et des communes)

I11-ASPECT GEOMORPHOLOGIQUE**Introduction**

La région d'étude fait partie essentiellement de l'Atlas Tellien, dont la géomorphologie est formée par une chaîne montagneuse, des plaines et par des bassins versants, ces formes sont liées principalement à la géologie, à la tectonique qui a affecté la région et à l'accumulation des sédiments alluviaux et éoliens pendant le Quaternaire, ainsi qu'à l'érosion superficielle (précipitation et ruissellement)

I-Principales formes**1-bassins versants**

La région d'étude est incluse dans trois bassins versants : la wilaya d'El TARF chevauche entre le bassin constantinois Est (code03) avec une superficie de 5955 Km² et une altitude moyenne de 716m.

la wilaya d'Annaba chevauche entre le bassin Constantinois centre qui a une superficie de l'ordre de 5582 km², Constantinois Est, et le sous bassin de la Seybouse maritime

Les sous bassins versants caractérisant la région d'étude sont :

-l'oued kébir Magroun, lac Fatzara, cotiers chetaibi (faisant partir du bassin du bassin constantinois centre.

-l'oued Seybouse maritime (appartient au bassin de la Seybouse

-l'oued bounamoussa, Ramel souk, oued Mafragh, cotiers El Kala (appartiennent au bassin du constantinois centre

2-zone de s plaines

Les plus importants zone sont :

La plaine d'ANNABA : la grande plaine d'Annaba est drainée par les deux grands oueds, au Sud l'oued Seybouse et au nord l'oued bounamoussa

La plaine d'ANNABA est limitée au Nord par l'inclinal du massif de l'Edough et au Sud par l'anticlinal de la chaine numedienne.elle est caractérisée par une topographie relativement réguliere .on distingue trois secteurs présentent chacun des formes différents :

-la basse plaine dans laquelle s'encaisse l'oued seybousse, les bordures ou on peut observer des glacis et le littoral ou quelque formations quaternaire sont visible. Cette basse plaine a une forme inclinée légèrement bombée avec la seybousse comme axe.

-dans la partie sinueuse on peut observer deux terrasse, la basse terrasse sablo limoneuse constituant le niveau général de la plaine d'ANNABA, très basse terrasse existe seulement dans la région de Dréan, et c'est dans celle-ci que sont dessinés les méandres et les bras morts de la Seybouse ; elle disparaît en aval, la Seybouse entaille alors directement son li dans la plaine

-la basse terrasse sableuse de la Seybouse est à une altitude de 506m. Elle vient butter contre un cordon dunaire de sable blanc et haut d'environ 10m, cette dune nait derrière le port, au-delà de l'ancienne embouchure de la seybouse

-a l'Est et à l'Ouest, la basse terrasse sableuse de la Seybouse disparaît pour laisser la place à des dépression de 2m d'altitude et formations argileuses noires (marais boukhmira près de l'aéroport d'ANNABA).

La plaine d'EL Hadjar occupe la partie Est du fond de la cuvette du Lac Fetzara et se prolonge par celle de Annaba, elle est reliée au Lac Fetzara à partir de l'Oued Méboudja.

la plaine d'ELHadjar se termine contre le Djbel Belelieta dernier mont du massif de l'Edough, le versant de ce Djebel est rectiligne et abrupt,il s'agit d'un contacte par faille.

3-les montagnes

La région d'étude Annaba –EL TАРF est caractérisée par deux montagnes principales :

La montagne de l'Edough dans la wilaya d'ANNABA et les montagnes de la Cheffia dans la wilaya d'EL TАРF.

a-la montagne de l'Edough : le mont de l'Edough est limité à son piémont Sud, Est par le lac Fetzara, la plaine d'ANNBA et la mer Méditerranée .à l'ouest ce massif est nettement séparé des reliefs situés au Nord Ouest par la vallée de L'Oued EL Aneb.

sa masse principale est prolongée en direction du Nord à 5°EST .la ligne de crête relativement rectiligne longue de 26km. Débute au Nord du Lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600m pour cumuler à 1800m d'altitude au Kef Seba et redescend à 867m vers Seraidi, elle s'abaisse en suite régulièrement jusqu'au Cap de garde au Nord de la ville de Annaba.

à l'Est du lac Fetzara, le massif de l'Edough est isolé du Djebel Belelieta par une vallée à fond plat qu'empruntent la voie ferré et la route RN44,il s'agit là d'un fossé Ouest-Est d'effondrement entre les Djebels Edough et Belieta 287m,ouvrant ainsi une dépression vers la mer méditerrané à l'Ouest le Djebel Edough est relié par deux ensemble de collines ;le premier situé entre deux commune de Oued El Aneb et Berrahal 226m, le second au Nord de Boumaiza 130m.

b- les montagnes de la Cheffia les montagnes de la Cheffia qui surplombent la partie aval du bassin d'El Mafragh forment une barrière Est-Ouest, elles présentent au dessus de la plaine de Annaba des altitudes avoisinant les 450m, dominant par des massifs de 700 à 900m d'altitude (Djbel Bled Gherfie 996m) à l'Ouest et Djebel Rhona 1202 m à l'extreme Nord-Est (Frontière Algero-Tunisienne)

4-zone des marécages

temporaire ou permanentes, ces zones sont localisées dans les dépressions à fond argileux imperméables et de faible topographie, elles se situent généralement près de la cote (lac Mellah,Lac Tonga,Lac des oiseaux,Lac Oubeira, Lac Fetzara...etc.)elle est la conséquence d'une pluviosité abondante qui affecte leur impluvium le résultat des débordements des oueds pendant les périodes de crue

IV-APPORT DU CONTEXTE GEOLOGIQUE, STRUCTURAL ET GEOMETRIQUE

1-Introduction

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles. Nous voulons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs, des zones imperméables et des zones en voie de dissolution.

Le tracé hydrologique est fortement influencé par la géologie, cette dernière joue un double rôle, car son influence se fait sentir d'une part sur le régime de cours d'eau, et d'autre par sur l'érosion et le transport solide.

La région d'étude a fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie, Nord Orientale et fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celles de (H. Joleaud, 1936, J. Hilly, 1962, J. M. Vila, 1980, J.C. Lahondere, 1987, Gleizes, 1988, Hammor, 1992). Ces études ont montré deux types de terrains, l'un sédimentaire et l'autre métamorphique.

La couverture géologique du territoire des régions d'études d'Annaba et El Tarf, a été identifiée à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50000 d'Annaba, et El Tarf.

Le terrain en question chevauche sur diverses formations géologiques d'origine sédimentaire, métamorphique et éruptive attribuées aux Paléozoïque, Cénozoïque et Quaternaire qui correspondent à quatre grands ensembles tectoniques et structuraux :

Le massif Cristalloyhylien de la région de Annaba, l'Edough constitue la terminaison Est de la ligne des crêtes des massifs Kabyles. Il forme aujourd'hui un dôme anticlinal sous l'aspect d'une amygdale elliptique dont l'axe orienté SW – NE se prolonge au-dessus du lac Fetzara par les coteaux de Berrahal.

Cet ensemble montagneux de structures complexes (faillé et plissé) est affecté par toutes les phases tectoniques depuis le Paléozoïque. Il apparaît comme tout a fait indépendant du reste de la région .dont l'orogénie se lie à la terminaison orientale de la chaîne Numidique.

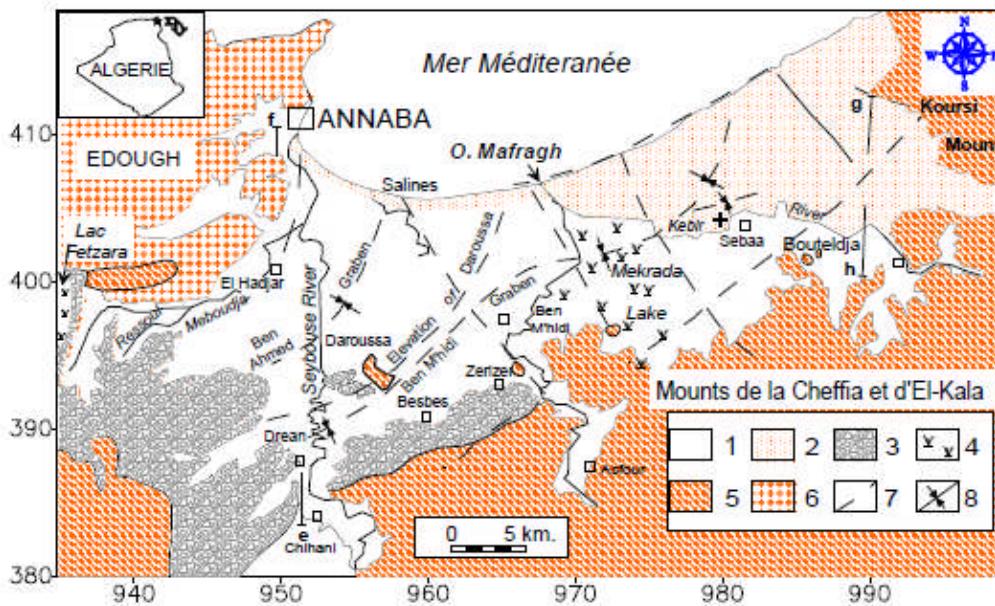


Fig.1 Situation géographique et géologique des plaines de la région d'Annaba-Bouteldja

(D'après Strojexport, 1975, modifié par Pr.A.HANI 2002)

Légende : 1- Alluvions récentes et actuelles ; 2- Dunes ; 3- Alluvions anciennes
 4- Marécage ou Lac ; 5- Grés et Argile Numidiens ; 6- formation Métamorphique
 7- Faille 6- Axe des fosses ; 9- Tracé de coupe

2. Cadre géologique régional

Le massif de l'Edough, situé sur la côte algérienne, dans la région d'Annaba est un massif cristallophyllien, le plus oriental de la côte algérienne, il se présente comme une antiforme de gneiss et micaschistes de 50 Km de long sur 20 Km de large et d'orientation axiale N 60 à intercalation de marbre-amphibolite et de schiste satinés (J.M.VILA, 1980).

Le massif de l'Edough est caractérisé par une lithologie variée, on y distingue un complexe cristallophyllien qui est la partie essentielle du massif, des formations magmatiques et sédimentaires qui sont localisées principalement dans la partie Est du massif.

Il a fait l'objet de plusieurs études géologiques (Hilly, 1962; Vila, 1970; Gleizes et al., 1988; Marignac et Zimmermann, 1983; Marignac, 1985; Bouguerra, 1990 ; Monié et al., 1992; Hammor, 1992; Aissa et al., 1995; Hammor et Lancelot, 1998; Laouar et al., 2002) et il est considéré comme faisant partie des zones internes de la chaîne alpine de l'Afrique du Nord, associée à la collision de la plaque africaine et européenne durant la période Oligo-Miocène (Auzende et al. 1975; Bouillin, 1979; 1986; Cohen, 1980; Maurey et al., 2000; Laouar et al. 2005).

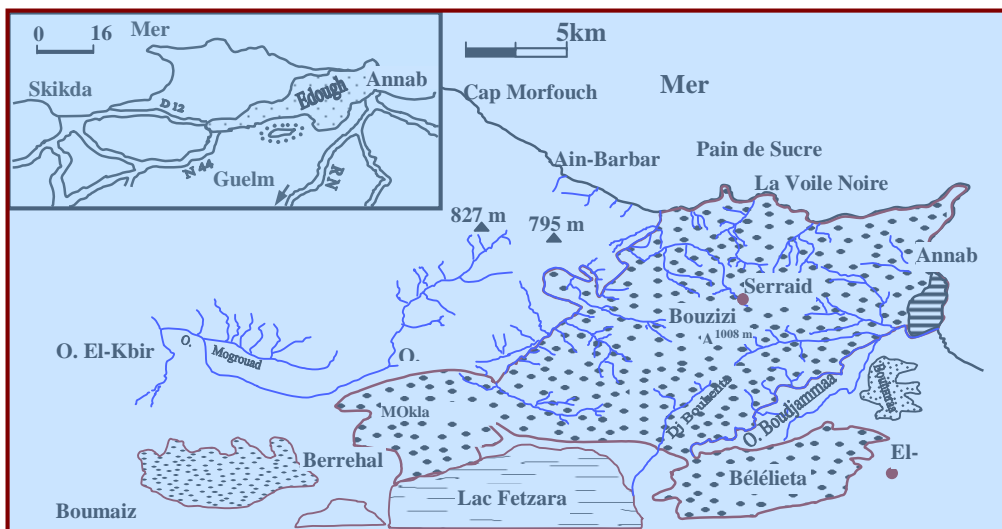


Figure 2 : Situation géographique du massif de l'Edough. (D'après Hilly, 1962 modifiée)

Le complexe de l'Edough est composé d'une variété de roches métamorphiques d'âge Précambrien à Paléozoïque; l'ensemble de ces roches forme une antiforme d'axe NE-SW (Figure 2).

3-Cadre litho stratigraphique

3.1. Le complexe cristallophyllien

D'après les nombreux travaux géologiques dont J.M. Vila, 1970 et G. Gleizes, 1988, le massif pourrait être subdivisé en trois unités (figure 5).

- L'unité de base.
- L'unité intermédiaire.
- L'unité supérieure.

3.2. L'unité de base

Représentée principalement par des gneiss et des micaschistes correspondant respectivement à la série gneissique de base, on y distingue des gneiss clairs des gneiss sombres et des leptynites. L'ensemble constitue le cœur de l'anticlinal et cette unité gneissique est riche en matériel quartzo-feldspathique, en mica, sillimanite et parfois en tourmaline.

Les gneiss clairs sont pauvres en biotite et sont caractérisés par de gros yeux de feldspaths de 3 à 5 cm.

3.3. L'unité intermédiaire

Elle repose sur la série gneissique. Cette série est constituée par une alternance de micaschiste et de bancs de marbre à cristaux plus aux moins bien cristallisés. Le contact entre les marbres et les micaschistes est souligné par des Skarns de réaction.

3.3.1. Les micaschistes

Leur épaisseur varie de quelque mètres à 100 m, sauf au Cap de Garde où ils apparaissent en position verticale avec une structure litée, selon leur composition minéralogique il existe plusieurs types de micaschistes : micaschistes à grenat, micaschistes à grenat et andalousite, micaschistes à deux mica, micaschistes à phénoblastes de muscovite, micaschistes à grenat et staurotide, micaschistes à andalousite et à tourmaline avec plus ou moins de grenat, micaschistes à disthène.

Tous les micaschistes renferment des minéraux du métamorphisme dont certains sont visibles à l'œil nu (grenat, andalousite, staurotide et disthène). Ces minéraux sont assez bien formés et sont souvent idiomorphe.

3.3.2. Le marbre

Affleure en lentilles ou en petits bancs, parfois recoupé des micaschistes. La couleur est souvent grise très claire, légèrement blanche.

3.4. L'unité supérieure (série des alternances)

Cette unité est essentiellement constituée par l'alternance régulière de micaschiste souvent fortement alumineux et de quartzite feldspathique très plissotée. Dans les micaschistes alumineux à muscovite (ou) à biotite s'intercalent des "lydiennes" noirs en lits d'épaisseur centimétrique à décimétrique. La présence d'acritarches (Ilavsky et Snopkova, 1987) précise que cette série est d'âge Paléozoïque. Vers la base s'intercalent des dalles de gneiss œillets dont la puissance varie de 10 à 100 m.

4. Les roches ignées

Les roches ignées du massif de l'Edough sont localisées, d'une part à la bordure Nord occidentale du massif et dans la région d'Ain Barbar, d'autre part dans la partie septentrionale du massif du Cap de Fer. Ces roches font partie d'une même série calco-alcaline et peuvent être classé en grands groupes:

4.1. Le groupe microgranitique

C'est le groupe le plus important dans le massif de l'Edough, comprend des roches microgrenues plus rarement à tendance microlitique. Il se présente selon le cas : en dykes, en petits pointements en bosses, et des laccolites.

4.2. Le groupe rhyolitique

Les laves qui appartiennent au groupe rhyolitique n'affleurent pratiquement que dans la région située au Nord-Ouest du massif, il se présente soit en filon soit en massif.

Les rhyolites renferment des enclaves de gneiss, de micaschistes, grès numidien, flysch sénonien et microgranite au sein des rhyolites.

4.3. Le groupe dioritique

Les roches du groupe dioritique sont localisées dans la partie septentrionale du massif de Cap de Fer, leur texture est généralement grenue, elles sont formées de plagioclase, de hornblende et augite.

4.4. Le groupe andésitiques

Ce groupe est beaucoup moins homogène que les précédents, ils comprennent des roches allant des basaltes aux rhyolites mais qui ont, pour la plus part, un faciès andésitique.

Ce groupe ne se situe pas exactement dans le massif de l'Edough mais plutôt du côté du Cap de Fer et de Chetaibi.

5. Les terrains sédimentaires

Les terrains sédimentaires occupent la quasi-totalité de la plaine d'Annaba et une grande partie de celui du massif de l'Edough.

On distingue les flyschs et les formations post-nappes :

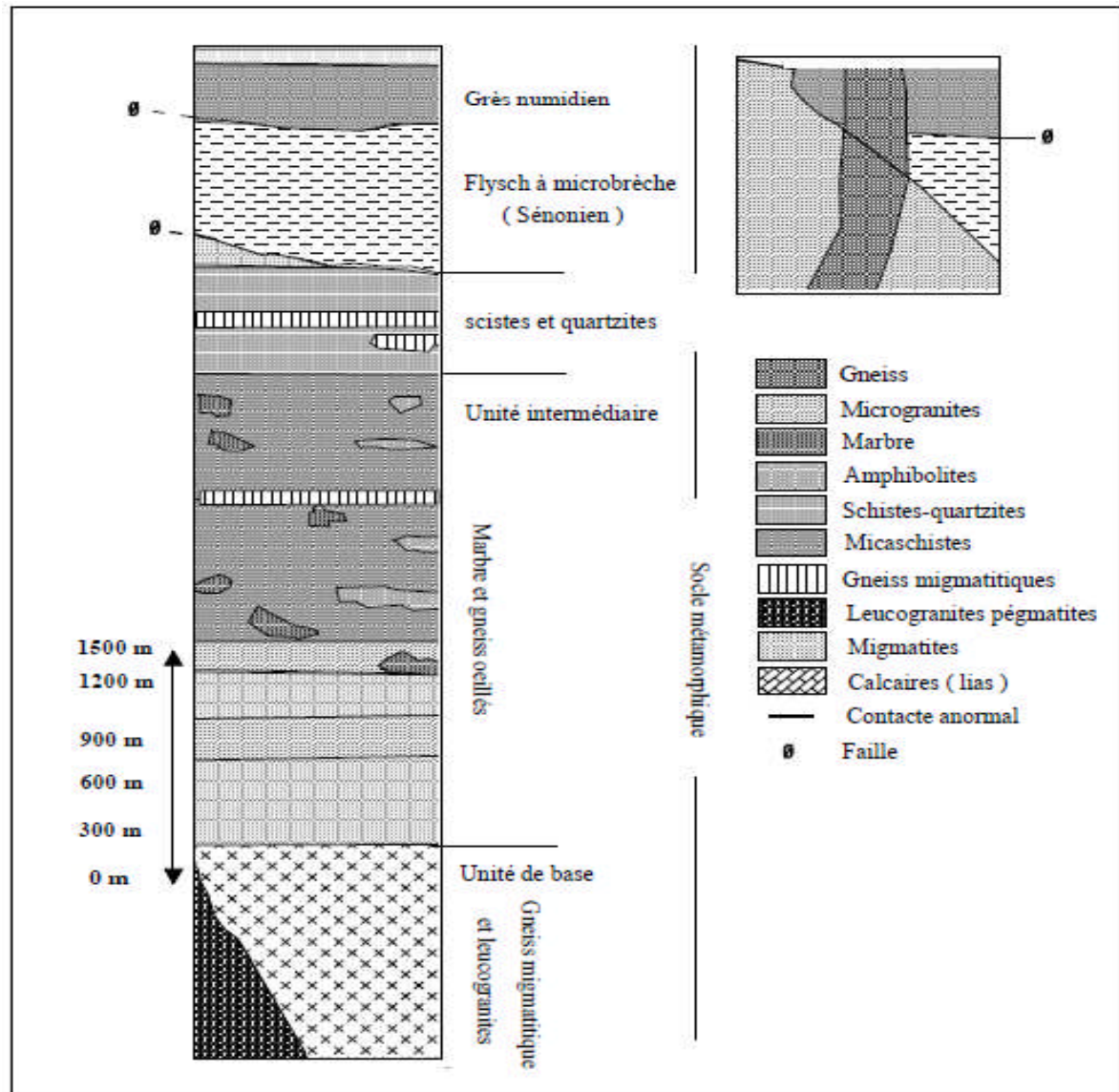


Fig.03. Colonne lithologique du massif de l'Edough (D'après Aissa D.E.1985)

5.1. Les flyschs ou grès numidiens

Ils se présentent sous forme d'alternance de grès grossiers, hétérométrique à dragées de quartz et de minces couches pellicule, les argiles forment la base de cette unité.

Les flyschs numidiens reposent sur les flyschs sénoniens et sont séparés en deux par une zone bréchique intensément silicifiés et chloritisés.

5.2. Les flyschs sénoniens

Ils affleurent sous le numidien en fenêtre près d'El Mellaha et Es Saf-Saf au Nord Ouest du massif.

Les flyschs sénoniens présentant un aspect de schistes argileux de teinte noire, bleutée ou jaunâtre. Ils sont constitués d'un matériel quartzeux, chloriteux très fin, carbonaté ou bioclastique.

5.3. Le Mio-Pliocène

Constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de la plaine d'Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe des graviers.

Ces formations sont liées aux dépôts des fosses d'effondrement. En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (SONATRACH, 1969 ; Strojexport, 1975) :

- La fosse de Ben - Ahmed, orientée S-N.
- La fosse de Ben – M'hidi, orientée SW-NE.

Ces deux fosses sont séparées par le haut fond de Daroussa (ou élévation de Daroussa). Cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène. Ces dépôts qui le remplissent forment une série continentale argilo - sableuse avec des lits de conglomérats constituant le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba – Bouteldja.

5.4 Quaternaire

Il est constitué de formations continentales, alluvionnaires, colluviales et marines. Les études géologiques de L. Jaleaud, (1936)

Les formations dunaires et alluvionnaires d'âge quaternaire constituent la roche réservoir du système aquifère d'Annaba-Bouteldja. On y distingue:

a. Quaternaire ancien (haute terrasse), constitué par des formations alluviales (argiles, limon, sables, gravier et galets), et formant un réservoir d'eau superficielle, son altitude varie entre 75 et 150 m.

b. Quaternaire moyen, correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, constituée par des argiles et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Cette terrasse se développe sur toute la région.

c. Quaternaire récent, caractérisé par des dépôts alluvionnaires, limoneux très fins, à prédominance d'argile qui couvrent indifféremment l'ensemble de la plaine (S. E. Cherrad, 1979 in N. Kherici, 1993) il correspond à la basse et la moyenne terrasse.

d. Quaternaire actuel, les alluvions sont représentées par des dépôts des lits actuels des Oueds, formé généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

Le cordon dunaire représenté par un massif constitué essentiellement de sable d'origine marine. Il affleure largement entre le village de Chatt et la ville d'El-Kala.

Cette description géologique a fait apparaître que dans la région d'étude seules les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations du Primaire et celle du Tertiaire (Numidien), qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploités.

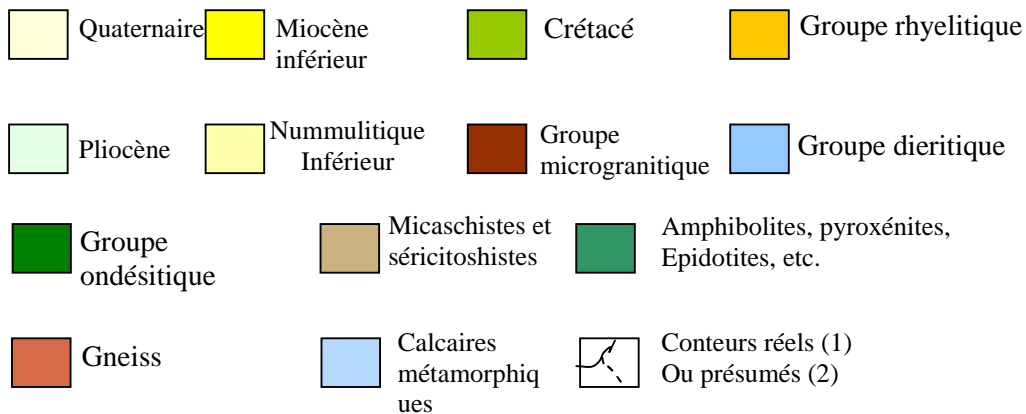
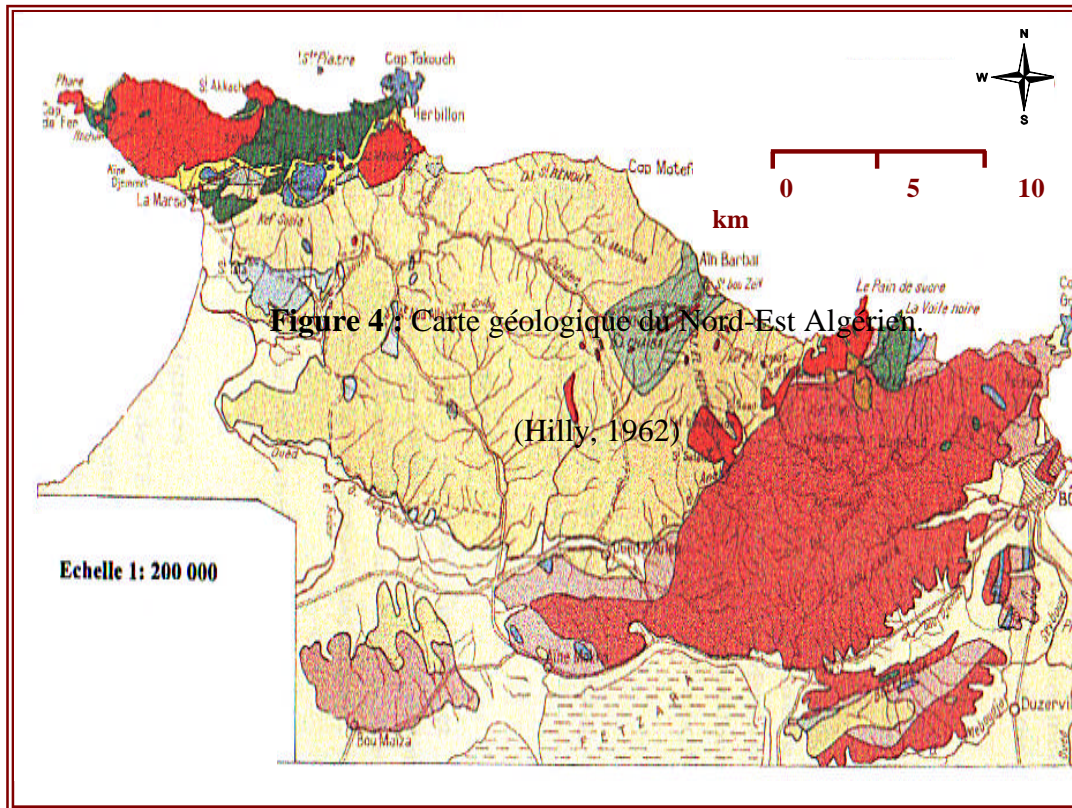


Figure 4 : Carte géologique du Nord-Est Algérien.

(Hilly, 1962)

4 .Cadre structural

La Plaine d’Annaba-Bouteldja, aux reliefs très peu marqués comporte des limites naturelles (fig. 1) avec la Mer Méditerranée, au Nord, ii) les reliefs du Massif de l’Edough, à l’Ouest, aux formations cristallophylliennes paléozoïques, iii) des Monts de la Cheffia et d’El-Kala, au Sud,

plus orientaux dont les unités numidiennes, allochtones, d'argile et de grès recouvrent le socle. Dans la Plaine, ces ensembles sont masqués par des dépôts récents, comblement de deux bassins sédimentaires principaux, identifiées par la géophysique (Sonatrach, 1966 ; Strojexport, 1975) avec un graben NS, la fosse Ben Ahmed, sous la plaine de la Seybouse, et un graben SSW-NNE à WSW-ENE, la fosse Ben-M'hidi, sous celle de l'oued Kébir et le massif dunaire oriental (fig. 2). Ces deux fosses sont limitées par des failles à très forts pendages (60 à 80°) et séparées par un horst, subméridien, représenté par l'élévation de Daroussa à laquelle appartient, dans la partie méridionale, la Butte de Daroussa,

Le remplissage très hétérogène des deux fosses (Joleaud, 1936 ; Gaud, 1976 ; Vila, 1980) avec des alternances d'argile, de sable et de graviers, est marqué par de brutales variations de faciès dans l'espace et dans le temps. Schématiquement (fig. 3), nous pouvons distinguer quatre faciès principaux avec, à la base, une couche de marnes miocènes de plus de 150 m d'épaisseur surmontée par 60 à plus de 100 m d'argiles détritiques plio-quadernaires, puis par des lentilles de graviers et de galets séparées par de fines couches d' argiles.

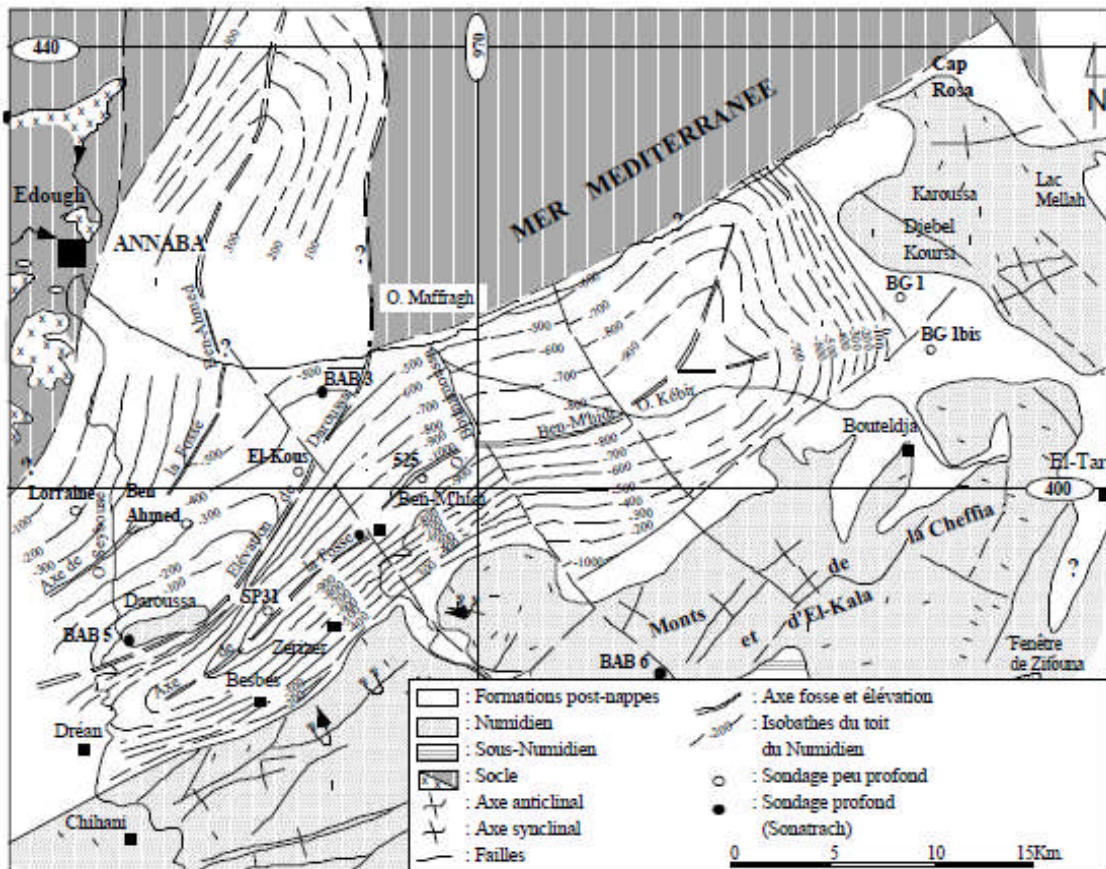


Fig. 5—Esquisse structurale des plaines de Annaba-Bouteldja (Sonatrach, 1969, Hani 2003)

Ces dernières sont elles-mêmes recouvertes par des argiles sableuses (0 à 70 m). Dans le secteur NE de la région, une épaisse couche de sable dunaire se superpose aux formations antérieures. L'ensemble de ce dispositif est affecté par deux familles de failles à forts pendages, de directions respectives NE-SW et NW-SE qui apparaissent tardives vis-à-vis des sous-bassins constitués et de leurs remplissages.

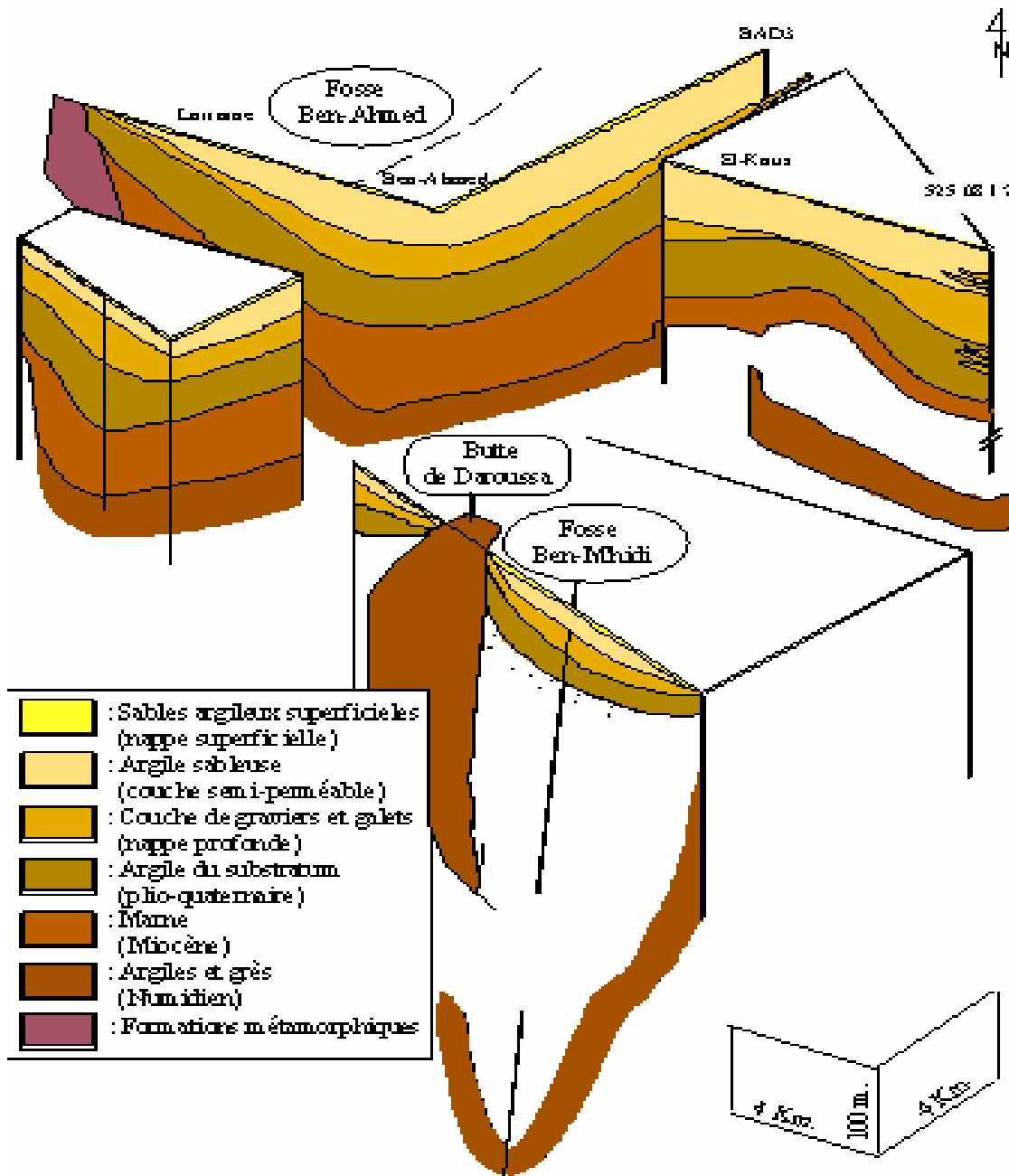


Fig. 6-Bloc diagramme au travers de la plaine de Annaba.

4.1- Caractéristiques géométriques du système aquifère

L'hétérogénéité des dépôts a permis de définir un système aquifère constitué par une nappe superficielle qui s'étend sur l'ensemble de la zone d'étude, excepté sur sa bordure nord constituée par les sables du cordon dunaire, à l'Ouest de l'oued Mafragh, et du massif dunaire de Bouteldja à l'Est. Ce dernier constitue un réservoir aquifère dont les ressources en eau souterraine à l'alimentation des populations des wilayas d'Annaba et El-Tarf. Sous cet ensemble les forages ont rencontré sous une couche argilo-sableuse semi-perméable des niveaux de graviers s'étendant sur toute la superficie du système. L'analyse de près de 500 coupes lithologiques de forage a permis d'identifier la structure profonde des principaux aquifères et de déterminer leur extension latérale et verticale. Nous décrivons à partir des coupes reportées sur la figure 1 l'ensemble de ces horizons aquifères successivement de l'Ouest vers l'Est.

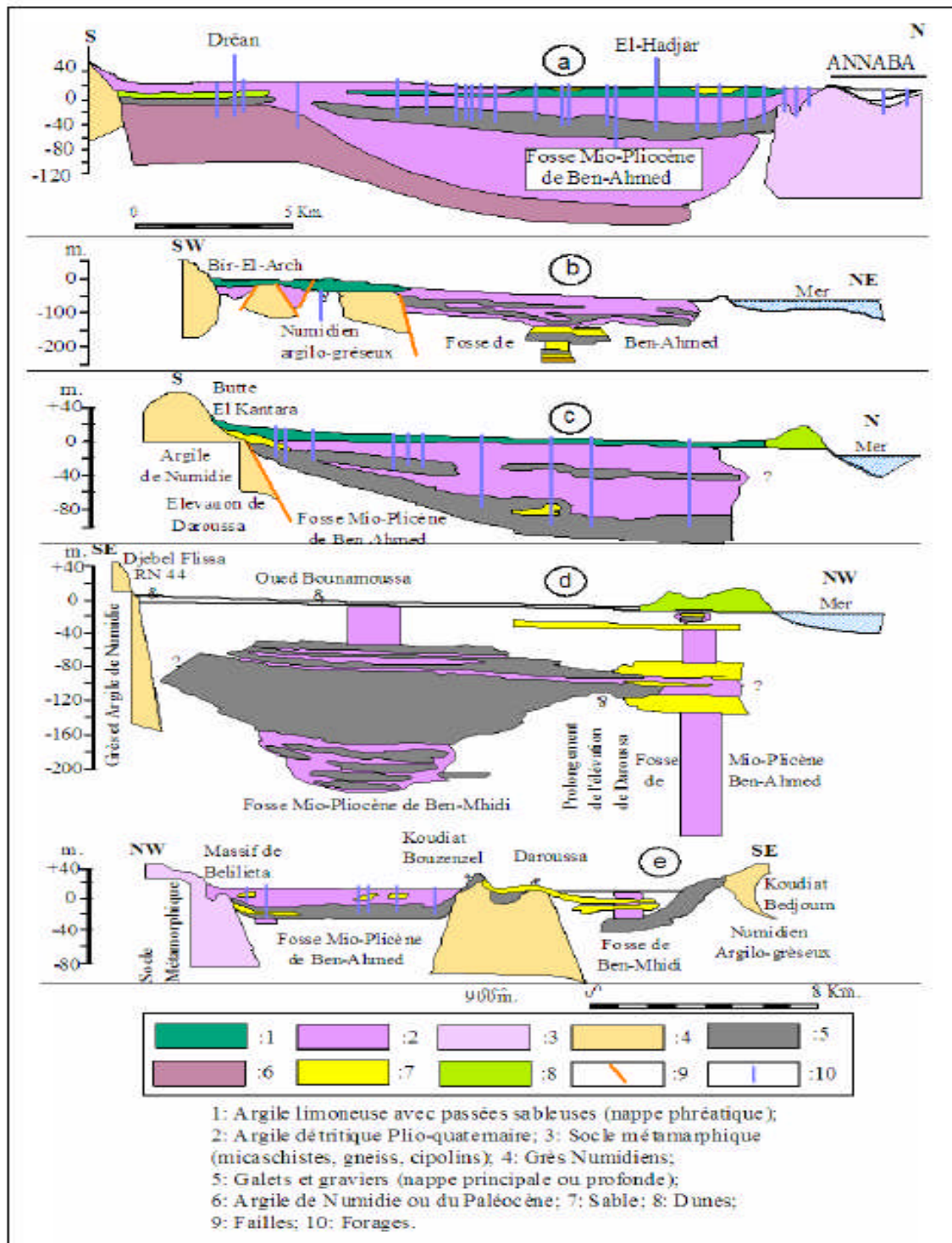


Fig.7 : l'ensemble de ces horizons aquifères successivement de l'Ouest vers l'Est.

CONCLUSION

Les plaines d'Annaba-Bouteldja sont constituées par des sédiments mio-plio-quaternaires comblant une zone d'effondrement. Les travaux réalisés dans la région ont montré qu'il existait deux fosses séparées par un haut-fond qui porte la butte de Daroussa :

- la fosse Ben-Ahmed , orientée S-N,
- la fosse Ben-M'hidi , orientée SW-NE.

Le remplissage de ces fosses comporte plusieurs horizons aquifères lenticulaires à continus sur toute l'étendue des plaines d'Annaba et de Bouteldja. Ces formations sont très variées tant par la dimension des grains que par la géométrie des couches conférant aux matériaux des propriétés hydrauliques différentes dans l'espace. Dans ce remplissage hétérogène on distingue 3 principales nappes; la nappe superficielle contenue dans les argiles sableuses, la nappe des graviers et la nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja qui constitue la bordure Est du système. Ces trois nappes sont largement exploitées par de nombreux ouvrages de captage destinés à l'alimentation des populations et pour répondre aux besoins de l'industrie et de l'agriculture. Cependant, l'évaluation des transferts hydrauliques à l'intérieur de ces bassins, à partir de la mesure ou de l'estimation des débits qu'ils soient entrants ou sortants, reste difficile à cerner. Pour ce faire, nous tenterons dans le chapitre II d'évaluer les principaux termes du bilan et d'appréhender l'hétérogénéité de la répartition spatiale et temporelle de la recharge des nappes.

INTRODUCTION

L'étude des caractéristiques hydroclimatologique joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela, l'élaboration du bilan hydrique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydraulique de surface d'une région donnée.

Climatologie de la zone d'étude

I. Stations de mesures

Les données recueillies de la station des Salines et de Ben Mhid de l'Agence Nationale des ressources Hydrauliques de Annaba (A.N.R.H), sont sous forme de moyennes mensuelles et annuelles des hauteurs de pluie pour une période de 25ans (1984-85/2009-10), et des moyennes mensuelles et annuelles des températures pour la même période, mais seulement à la station des Salines, parce que les autres stations ne disposent pas des instruments de mesure de la température ou parfois il sont en panne. Ces données permettent d'estimer la répartition dans le temps et dans l'espace, ainsi que la quantité d'eau infiltré et évaporée. Pour cela on a utilisé les données des trois stations dont les données sont les plus complètes et les plus représentatives de la zone d'étude. Les coordonnées de ces stations météorologiques sont consignées dans le tableau n°1.

Tableau.1. Coordonnées géographiques des stations météorologiques.

Stations	Coordonnées Lambert (km)		Altitude
	X	Y	
Les Salines	955.20	403.80	33
Ben M'hidi	961.62	397.30	07

II. Type de climat

La région d'Annaba et El-Tarf est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons d'inégales durées :

Un hiver doux et humide allant de Septembre à Mai.

Un été chaud et sec relativement court durant les mois de Juin, Juillet et Août

Dans l'établissement du bilan hydrique, les précipitations sont l'élément le plus important parce qu'elles reflètent la circulation des eaux superficielles et souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux ainsi que celui des nappes.

III -Facteurs climatiques :

III.1. Températures: (T)

Les températures sont le deuxième facteur important dans l'étude climatique car agissant directement sur le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Les températures utilisées se rapportent aux stations des Salines et de Ben M'hidi (27) ans

a-Températures moyennes mensuelles: (TMM)

Les températures moyennes mensuelles mesurées dans les deux stations sur une période de 27 ans sont reportés dans le tableau (2) :

mois sts	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Saline	23.03	20.01	15.61	13.11	11.53	11.65	13.25	15.13	18.25	21.90	25.00	25.79
Ben MHIDI	23.30	19.70	15.39	12.31	10.74	11.19	13.15	14.98	18.32	21.89	24.48	25.66

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles en °C (1983/2010)

L'histogramme des températures moyennes mensuelles montre une différence assez proche entre les températures des deux stations (fig. 1.B).

Les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de décembre, janvier, février et mars où on remarque que le mois le plus froid est le mois de janvier (avec une température de l'ordre de 11.53°C aux Salines et de 10.74°C à Ben M'hidi). Par contre les plus fortes valeurs caractérisent les mois de juin, juillet et août où on remarque que le mois le plus chaud est le mois d'août (avec une température de l'ordre de 25.79°C aux Salines et de 25.66°C à Ben M'hidi).

b-Températures moyennes annuelles: (TMA)

Les températures moyennes annuelles pour les deux stations de mesure sur une période de 27 ans d'observation sont reportées dans le tableau ci – dessous:

Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Les Salines	Ben M'hidi
83/84	16.80	16.23	93/94	18.64	18.14	02/03	17.94	17.66
84/85	17.68	16.66	94/95	17.70	17.33	03/04	18.27	17.76
85/86	18.69	17.92	95/96	17.16	17.28	04/05	17.96	18.15
86/87	17.06	17.47	96/97	17.83	17.94	05/06	17.71	17.57
87/88	17.54	17.07	97/98	18.24	17.82	06/07	18.54	18.59
88/89	17.67	17.23	98/99	18.80	18.02	07/08	17.68	17.71
89/90	17.83	16.73	99/00	18.59	17.68	08/09	17.38	18.21
90/91	17.97	17.39	00/01	18.15	17.45	09/10	1.775	18.35
91/92	18.87	18.47	01/02	18.02	17.34	moyenne	17.85	17.59
92/93	17.57	16.77						

Tableau n°3 : Températures moyennes annuelles en °C (1983/10).

2-L'humidité relative de l'air :(Station des salines)

L'humidité relative de l'aire correspond au rapport de la tension de vapeurs réelles observées par la tension de la vapeur saturante à la même température. Elle nous permet de donner une idée sur l'état de l'atmosphère s'il est plus ou moins proche de la condensation.

Le tableau (4) présente les valeurs de l'humidité relative de l'aire en %:

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Humidité moyenne annuelle
Humidité moyenne mensuelle en %	72.32	74.58	76.52	77.15	78.43	74.28	75.48	74.60	74.97	72.92	70.07	71.39	74.47 %

Tableau n°4 : Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de l'humidité relative de l'aire à la station des Salines en % (1980/2010)

3-La vitesse des vents: (Station des Salines)

Le vent est un paramètre climatique qui nous permet de déterminer les régimes pluvieux, l'évapotranspiration et donc du climat d'une région quelconque.

Les résultats des calculs de la vitesse des vents sont récapitulés dans le tableau ci-dessous

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Vitesse moyenne annuelle
Vitesse moyenne mensuelle en m/s	3.01	2.84	3.07	3.40	3.30	3.28	3.25	3.20	2.98	3.04	3.17	3.10	3.1 m/s

Tableau n°5 : Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de la vitesse des vents à la station des Salines en m/s (1980/2010).

Le Nord –Est Algérien est dominé par des vents de direction Nord à Nord – Est, Sud – Ouest à Nord. La vitesse des vents est violente en hiver alors qu'en été devient plus faible, avec quelques épisodes de Sirocco augmentant la température.

4-Précipitations: (P)

Le terme précipitation désigne tout type d'eau qui tombe du ciel, sous forme liquide ou solide. Cela inclut la pluie, la neige, la grêle, etc. La précipitation est un facteur très important, qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement sur le régime des cours d'eaux et l'alimentation des nappes aquifères.

Notre région d'étude est classée parmi les régions les plus pluvieuses dans notre pays l'Algérie et pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries de précipitation allant de 1983 jusqu'aux 2010 soit 27 ans d'observation.

a. Précipitations moyennes mensuelles: (PMM)

La précipitation moyenne mensuelle nous permet de donner un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations en se basant sur des calculs de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré pour un nombre d'années quelconques.

Les hauteurs des pluies moyennes mensuelles enregistrées durant les périodes d'observation (1983 - 2010) sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Mois Stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Salines	36.30	70.01	89.04	122.63	103.44	79.15	60.86	57.77	37.06	12.95	2.19	10.07
BenM'hidi	35.27	53.34	88.71	105.70	106.51	79.08	55.88	55.39	34.30	7.96	2.09	7.71

Tableau n°6 : Précipitations moyennes mensuelles en mm (1983/2010).

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (fig.10.A) réalisé pour les stations des Salines et de Ben M'hidi montre un accroissement des précipitations allant du mois de septembre jusqu'au mois de janvier, au delà débute la baisse des précipitations qui se poursuit jusqu'au mois d'Août.

Le maximum des pluies tombe aux mois de décembre aux Salines avec 122.63 mm et aux mois de janvier avec 106.51 mm à Ben M'hidi, et le minimum tombe au mois de juillet avec 2.19 aux Salines et 2.09 mm à la station de Ben M'hidi.

4.2. Précipitations moyennes annuelles: (PMA)

Les hauteurs des pluies moyennes annuelles enregistrées par les deux stations pour 27 ans d'observations sont comme suite:

Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Les Salines	Ben M'hidi
83/84	609.20	542.17	93/94	535.00	540.55	02/03	841.00	751.80
84/85	633.00	614.97	94/95	689.30	689.30	03/04	559.60	435.20
85/86	760.00	761.77	95/96	684.60	684.60	04/05	550.60	514.00
86/87	678.10	523.52	96/97	644.60	720.50	05/06	460.30	408.10
87/88	937.80	897.76	97/98	519.70	550.90	06/07	842.10	783.00
88/89	927.00	908.67	98/99	548.30	594.70	07/08	708.00	531.80
89/90	543.00	498.24	99/00	807.00	656.70	08/09	987.70	875.46
90/91	909.30	905.35	00/01	422.80	322.2	09/10	612.50	573.80
91/92	491.00	411.43	01/02	941.00	809.60	moyenne	681.47	631.95
92/93	557.00	556.56						

Tableau n°7 : Précipitations moyennes annuelles en mm (1983/2010).

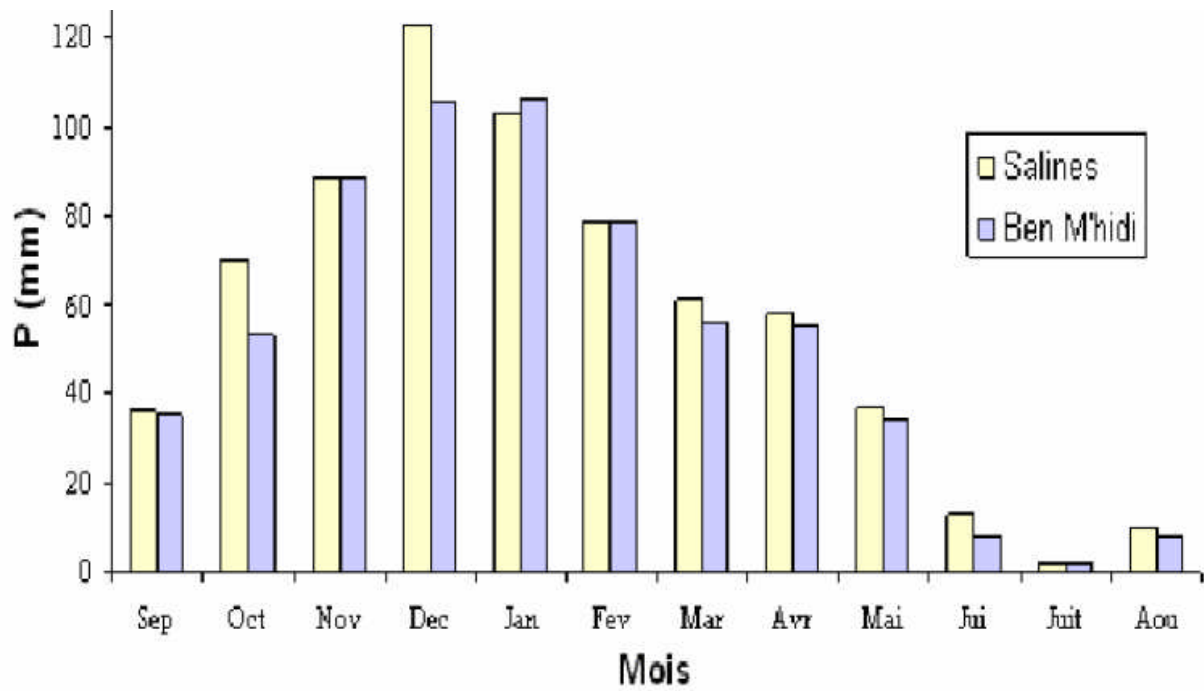


Fig. 8.A: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles aux stations des Salines et de Ben M'Hidi (1979/06).

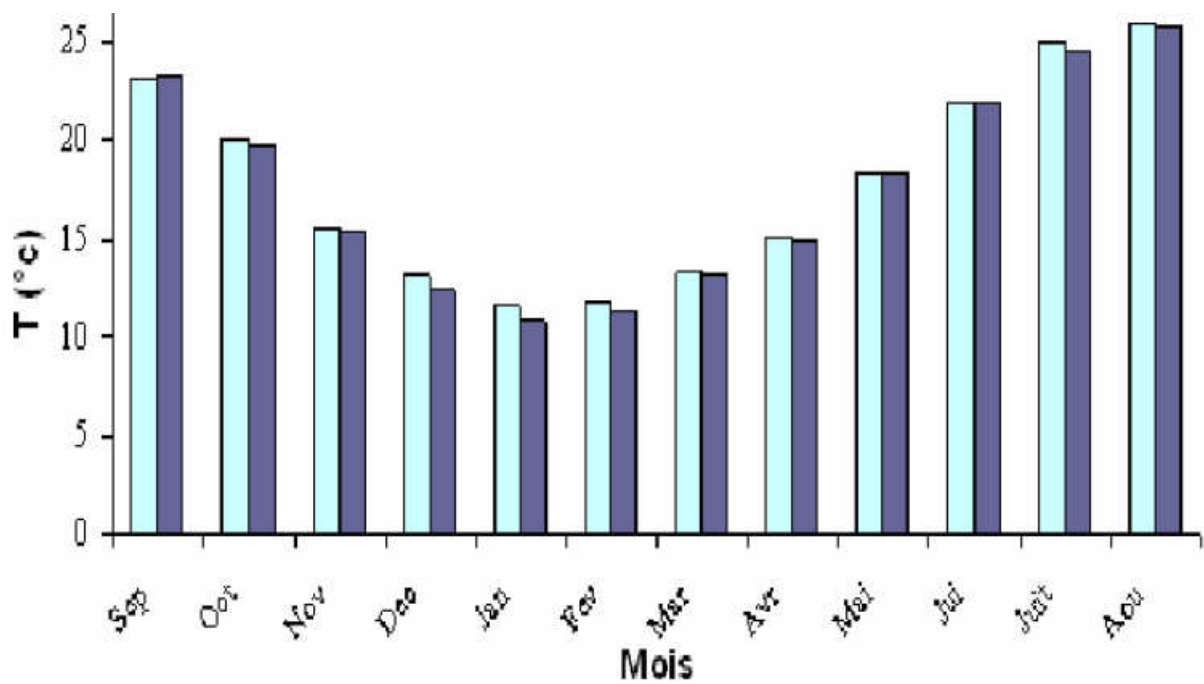


Fig. 8.B: Histogramme des températures moyennes mensuelles aux stations des Salines et de Ben M'Hidi (1983/10).

5. Caractéristiques climatiques d'aridité:

Emmanuel DE.MARTONNE (1925) a proposé une formule climatologique, appelée indice d'aridité, fonction de la température (T) et des précipitations (P) de la forme:

$$A = P / (T + 10) \quad (1)$$

Avec:

A : indice d'aridité annuelle;

P : précipitations moyennes annuelles en mm;

T : températures moyennes annuelles en °C.

Selon DE.MARTONNE :

- Si A est inférieur à 5: le climat est hyperaride.
- Si A est compris entre 5 et 10: le climat est très sec.
- Si A est compris entre 10 et 20: le climat est sec.
- Si A est compris entre 20 et 30: le climat est tempéré.
- Si A est supérieur à 30: le climat est humide (l'écoulement est abondant).

Les résultats des calculs sont récapitulés dans le tableau ci-dessous:

Stations	A
Les Salines	24.47
Ben M'Hidi	22.90

Tableau n°8 : Indice d'aridité annuelle (D'après la formule DE.MARTONNE).

Les deux stations montrent que le climat de notre région d'étude est un climat tempéré (pour une valeur comprise entre 20 et 30).

6-Coefficient pluviométrique: (H)

Le coefficient pluviométrique permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire. L'année est d'autant plus excédentaire que $H > 1$. Si $H < 1$, l'année correspondante est déficitaire.

Le terme H est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année à la pluviométrie moyenne P pour une période de n années;

$$H = \overline{P} / P \quad (2)$$

Avec:

H : coefficient pluviométrique;

P : pluviométrie d'une année en mm;

P: pluviométrie moyenne en mm.

Le tableau

Les deux stations montrent que le climat de notre région d'étude est un climat tempéré (pour une valeur comprise entre 20 et 30).

Le tableau qui vient après montre les variations de H au cours des années d'observation

Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Les Salines	Ben M'hidi
83/84	0.89	0.85	93/94	0.78	0.85	02/03	1.23	1.19
84/85	0.93	0.97	94/95	1.01	1.09	03/04	0.82	0.69
85/86	1.11	1.20	95/96	1.00	1.08	04/05	0.80	0.81
86/87	0.99	0.83	96/97	0.94	1.14	05/06	0.67	0.64
87/88	1.37	1.42	97/98	0.76	0.87	06/07	1.23	1.24
88/89	1.63	1.43	98/99	0.80	0.94	07/08	1.04	0.84
89/90	0.79	0.79	99/00	1.18	1.03	08/09	1.45	1.38
90/91	1.33	1.43	00/01	0.62	0.51	09/10	0.89	0.91
91/92	0.72	0.65	01/02	1.38	1.28	moyenne	681.47	631.95
92/93	0.82	0.85						

Tableau n°9 : Coefficient pluviométrique des stations des Salines et de Ben M'hidi (1983/2010). Les valeurs du coefficient pluviométrique obtenues montrent une alternance entre les années excédentaires et les années déficitaires. Cette évolution est indiquée par la figure 11 et qui met en évidence les différentes années excédentaires et les années déficitaires au niveau des deux stations (les Salines et Ben M'hidi).

V-Courbe pluvio - thermique: (voir fig.3 et fig.4)

Le climat de la station des Salines se caractérise par une saison humide, cette dernière se caractérise par une forte pluviométrie et une baisse de température, elle s'étend du début du mois d'octobre avec une précipitation importante qui atteint son maximum pendant le mois de décembre (122.63 mm au Salines) et le mois de janvier (106.51 mm à la station de Ben M'hidi) et prend fin en mois de mai.

Pour ce qui est de la saison chaude qui s'étend du début de mai jusqu'à la fin de septembre, elle est marquée par une forte évaporation provoquée par l'augmentation de la température ($T > 25.50$ °c), et la diminution de la précipitation ($P < 3$ mm).

V.1.Type de climat:

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen qui est tempéré, se caractérise par deux saisons l'une humide et douce allant du mois d'octobre jusqu'au mois de mai et l'autre chaude et sèche relativement courte durant les mois de juin, juillet, août et septembre.

Fig. 9: Diagramme pluvio – thermique de la station des Salines (83/10)

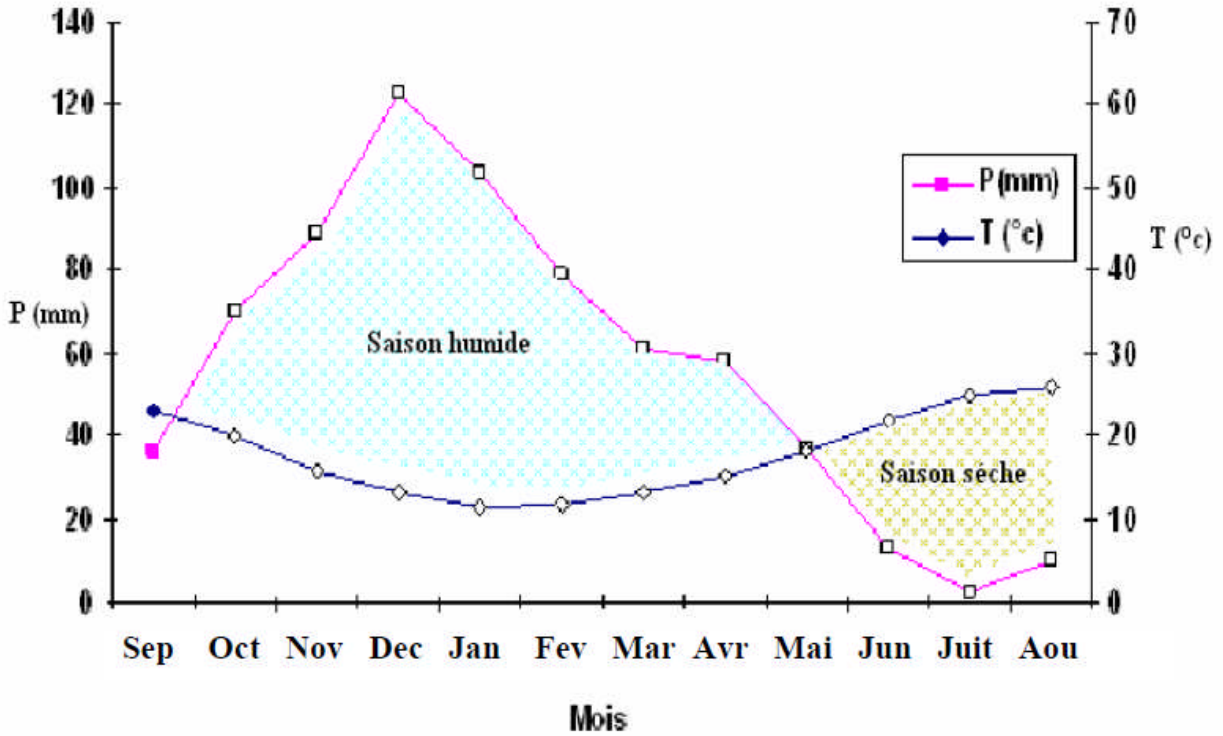
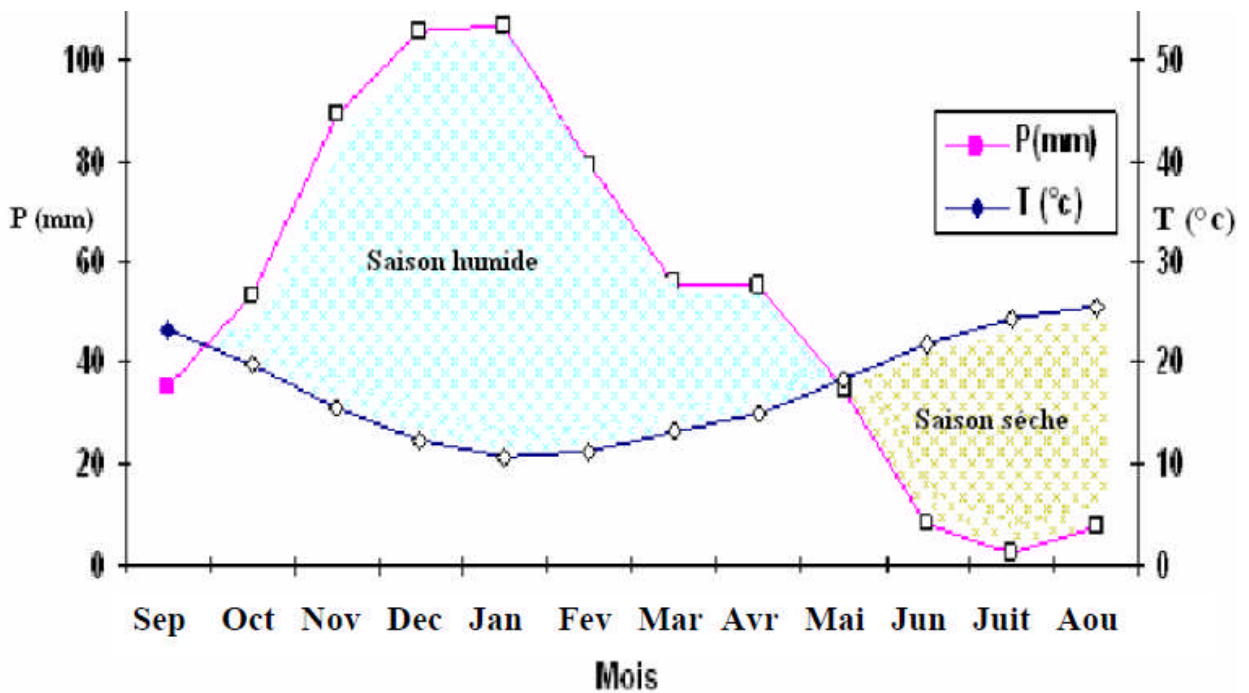


Fig. 10 : Diagramme pluvio – thermique de la station de Ben M'hidi (83/10)



V.2. Calcul du bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite:

Le bilan de Thornthwaite permet d'estimer pour chaque mois :

- L'évapotranspiration potentielle en mm;
- L'évapotranspiration réelle en mm;
- La réserve facilement utilisable (RFU) en mm;

Ce terme présente la quantité d'eau disponible dans le niveau superficiel du sol. La RFU est égale à 100 mm pour les deux stations (P. Brochet et Al, 1975).

-L'excédent d'écoulement (Ex) en mm dans le cas ou:

ETP = ETR donc la RFU est à son maximum (100 mm).

L'excédent, est appelé aussi pluie efficace, est le reste des eaux de pluie constituent l'écoulement et l'infiltration.

-Le déficit agricole (DA) en mm, il résulte de la différence entre l'ETP et l'ETR.

Il présente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures pour que la sécheresse ne l'atteigne pas.

Ici, l'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de Thornthwaite est:

$$ETP = 16 (10 T / I)^a \cdot K$$

$$a = (1.6/100) I + 0.5 \quad (12)$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm;

T : Température moyenne mensuelle en °C;

I : Indice thermique annuelle où $I = \sum i$ et $i = (T/5)^{1.514}$

V.3. Interprétation du bilan de Thornthwaite:

On remarque que lorsque la RFU est totale, il y a un surplus d'eau accompagnée par un écoulement et quand elle commence à diminuer, on a un épuisement du stock peu à peu au point qu'il sera complètement vide.

Ici, il y aura un déficit agricole (le déficit agricole à partir du mois de juin jusqu'au mois d'octobre pour les deux stations). La reconstitution du stock s'observe au mois de novembre avec une RFU égale à 51.83 mm à la station des Salines et 51.66 mm à la station de Ben M'hidi. La RFU atteint son maximum (100 mm) au mois de décembre et reste ainsi jusqu'au mois d'avril.

Pour la station des Salines, l'écoulement commence en décembre et ce termine au mois d'avril avec une somme de 216.31 mm et la même chose pour la station de Ben M'hidi avec une somme de 199.14 mm.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Tot
P(mm)	36.30	70.01	89.04	122.63	103.44	79.15	60.86	57.77	37.06	12.95	2.19	10.07	681.47
T(°C)	23.03	20.01	15.61	13.11	11.53	11.65	13.25	15.13	18.25	21.90	25.00	25.79	17.85
i	10.09	8.16	5.60	4.30	3.54	3.60	4.37	5.35	7.10	9.36	11.43	11.99	84.89
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	-
ETP(mm)	107.31	71.62	37.21	25.11	20.63	22.47	37.32	53.84	87.56	123.79	158.32	156.39	901.57
ETR(mm)	36.30	70.01	37.21	25.11	20.63	22.47	37.32	53.84	87.56	62.45	2.19	10.07	465.16
RFU(mm)	0	0	51.83	100	100	100	100	100	49.50	0	0	0	-
EXC(mm)	0	0	0	49.35	82.81	56.68	23.54	3.93	0	0	0	0	216.31
DA(mm)	71.01	1.61	0	0	0	0	0	0	0	61.34	156.13	146.32	436.41

Tableau n°10 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite pour la station de Ben M'hidi (1980 - 2010).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Tot
P(mm)	35.27	53.34	88.71	105.70	106.51	79.08	55.88	55.39	34.30	7.96	2.09	7.71	631.95
T(°C)	23.30	19.70	15.39	12.31	10.74	11.19	13.15	14.98	18.32	21.89	24.48	25.66	17.59
i	10.28	7.97	5.48	3.91	3.18	3.39	4.32	5.27	7.14	9.35	11.08	11.89	83.08
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	-
ETP(mm)	110.77	70.60	37.05	23.00	18.68	21.52	37.80	54.08	89.71	125.18	153.58	156.07	898.04
ETR(mm)	35.27	53.34	37.05	23.00	18.68	21.52	37.80	54.08	89.71	52.55	2.09	7.71	432.80
RFU(mm)	0	0	51.66	100	100	100	100	100	44.59	0	0	0	-
EXC(mm)	0	0	0	34.36	87.83	57.56	18.08	1.31	0	0	0	0	199.14
DA(mm)	75.50	17.26	0	0	0	0	0	0	0	72.63	151.49	148.36	465.24

Tableau n°11 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite pour la station de Ben M'hidi (1980 - 2010).

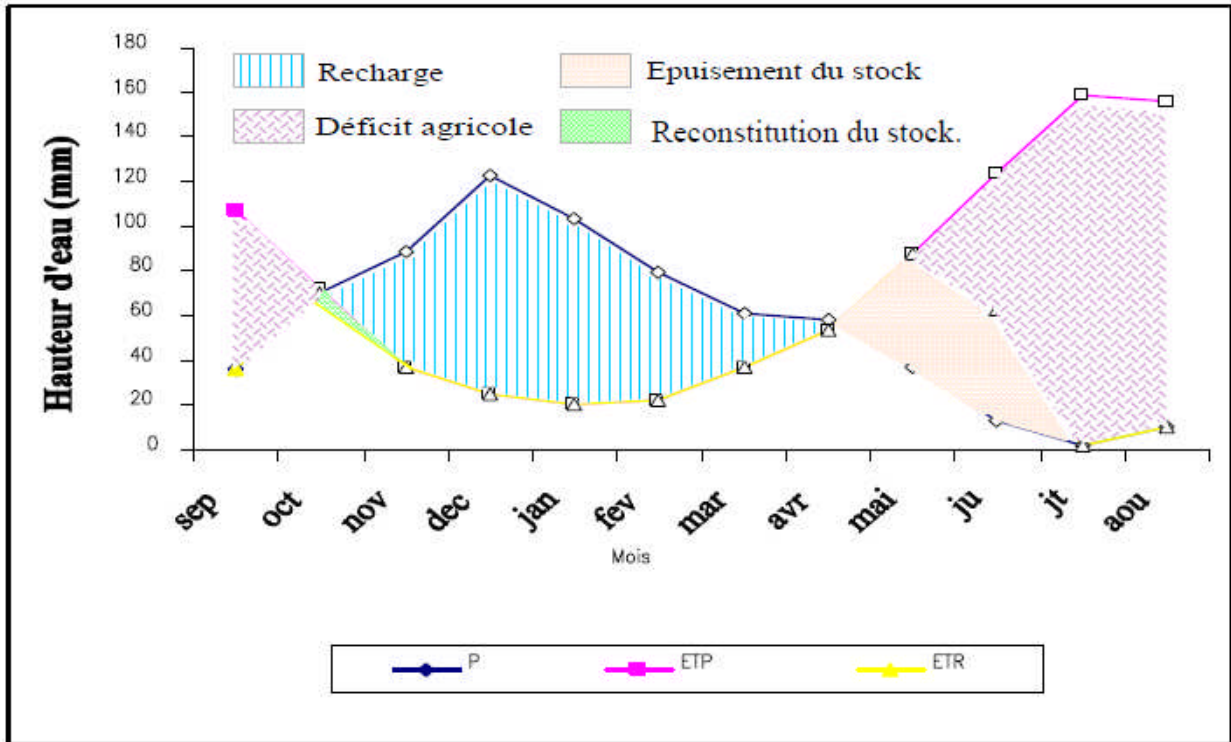


Fig.11 .Représentation graphique du bilan de Thornthwaite de la St des Salines (1983/84 – 2009/10)

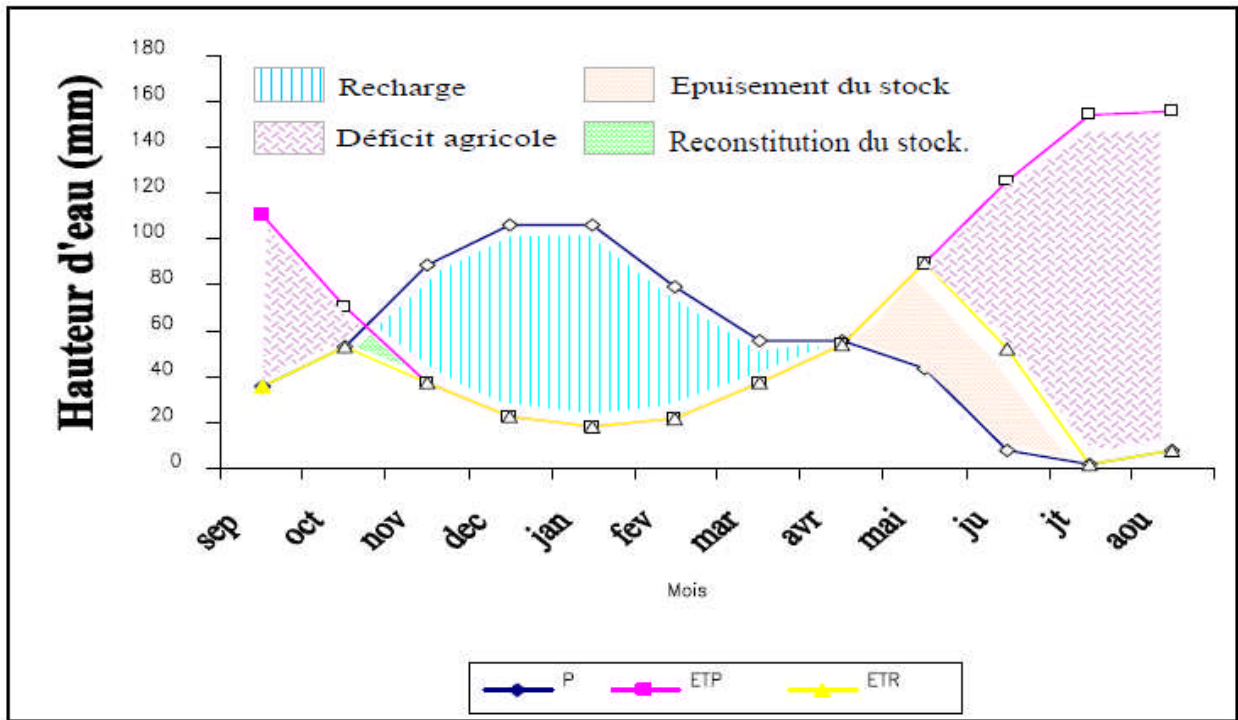


Fig.12: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite de la St de Ben M'hidi (1983/84 – 2006/10)

V4. Conclusion

L'étude hydroclimatique est indispensable à la compréhension des processus d'alimentation et de la restitution des eaux souterraines d'une région donnée.

Les données climatiques attribuent à la région un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes: l'une pluvieuse et humide et l'autre sèche et chaude. La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 681.47 mm au Salines et 631.95 mm à Ben M'Hidi et de températures annuelles moyennes de l'ordre de 17.85°C (Salines) et 17.59 °C (Ben M'Hidi).

La moyenne annuelle de l'humidité relative de l'aire à la station des Salines est d'une valeur de 74,47 % (1983/2009), alors que la moyenne annuelle de la vitesse des vents est de 3,1 m/s pour la même station de mesure.

L'ajustement à la loi normale (loi de Gauss) pour les précipitations moyennes annuelles aux stations des Salines et de Ben M'Hidi nous a permis de déduire un écart type de 165,35 pour la St des Salines et 164,32 pour Ben M'Hidi.

L'estimation de la période de retour (T) des précipitations moyennes annuelles nous permet aussi de distinguer en fonction de la fréquence F : d'une part, une année de pluie minimale avec 15 et 29 ans respectivement pour les stations des Salines et de Ben M'Hidi.

D'autre part, une pluviométrie qui est supérieure à celle de l'année pluie max tout les 33 et 20 ans respectivement pour les Salines et Ben M'Hidi.

La reconstitution du stock commence au mois de novembre et s'achève au mois de mai. L'épuisement du stock du sol s'observe au mois de mai et la nécessité d'irriguer s'impose surtout pour la période allant du mois de Juin au mois d'octobre où l'on constate un déficit agricole pouvant atteindre 156.13 mm (Salines) et 151.49 mm (Ben M'Hidi).

I- CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DU SYSTEME AQUIFERE D'ANNABA-BOUTELDJA

Introduction

Le remplissage mio-plio-quaternaire décrit précédemment renferme des ressources hydriques assez importantes. Cependant l'accroissement des besoins en eau pour l'alimentation des populations et pour satisfaire les activités industrielles et agricoles a conduit les services de l'hydraulique à intensifier les prélèvements au niveau des principaux champs captant (de Bouteldja, des Salines et d'El-Hadjar). Cette situation a eu pour conséquence une chute des niveaux des nappes, une diminution des débits des sources et une méconnaissance du fonctionnement hydrodynamique des aquifères sur de vastes zones (Nafaa, 1985 ; Hani, 2003). Dans cette étude, l'utilisation des méthodes statistique et géostatistique est apparue comme un puissant moyen pour l'identification des zones les plus favorables à l'implantation des ouvrages de captage et pour mettre en évidence l'influence de la structure profonde sur la répartition des caractéristiques physiques des principaux aquifères.

II-Interprétation des données de pompage d'essai

II.1- La nappe superficielle

Grâce aux observations de terrain ou des résultats acquis lors de différentes études (Khérici, 1993 ; Djabri, 1996 et Debièche, 2002), il est démontré que l'aquifère phréatique des plaines de Annaba et de Bouteldja présente des caractéristiques hydrodynamiques médiocres et ne peut être exploitée que pour l'alimentation de quelques hameaux ou pour l'irrigation de petites parcelles de terrain. Pour donner un ordre de grandeur des principales caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère, nous reprenons ici les résultats des pompages d'essai réalisés dans la région située au Sud-Est des Salines, l'un dans la zone à dominante argileuse, l'autre dans une zone à dominante sableuse. Les résultats sont consignés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Résultats de deux pompages d'essai effectués dans la nappe phréatique.

Coordonnées		Transmissivité ($m^2.s^{-1}$)	Coefficient d'emmagasinement	Epaisseur de la nappe (m)	Perméabilité ($m.s^{-1}$)
X	Y				
957.150	401.550	2.10^{-6}	?	5	4.10^{-7}
957.250	399.800	8.10^{-5}	2 %	5	$1.6.10^{-5}$

Ailleurs, des estimations ont permis d'obtenir des ordres de grandeur de la transmissivité. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Estimation des Transmissivités de la nappe phréatique (m².s-

Zone	Epaisseur nappe (m)	Dominante de la formation		sabro-argileuse à passées sableuses
		Argileuse	sabro-argileuse	
A	4	$9.2 \cdot 10^{-7} < T < 14 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5} < T < 9.2 \cdot 10^{-5}$	-
B	4	$2.3 \cdot 10^{-6} < T < 1.2 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5} < T < 2.3 \cdot 10^{-5}$	$4.4 \cdot 10^{-5}$
C	2	$2.2 \cdot 10^{-6}$	-	-
D	1	$5.8 \cdot 10^{-7} < T < 3 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-6} < T < 4.6 \cdot 10^{-6}$	$1.1 \cdot 10^{-5} < T < 2.2 \cdot 10^{-5}$

II.2- Les nappes des graviers et des sables dunaires

Le dépouillement de 105 pompages d'essai effectués dans les forages a permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques des principaux horizons aquifères. Les données proviennent des services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) ainsi que des directions d'Hydraulique des Wilaya d'Annaba et d'El-Tarf. Les points de mesure sont particulièrement nombreux le long de l'oued Seybouse ainsi que dans la partie orientale du massif dunaire de Bouteldja (fig. 13). L'interprétation des données de pompages d'essai a été effectuée en tenant compte des particularités hydrogéologiques induites par l'hétérogénéité du milieu (alimentation à partir d'un plan d'eau, barrière étanche, drainance à partir d'aquifère secondaire selon le schéma de Hantush, égouttement selon le modèle de Boulton, etc....)

(Hantush and Jacob, 1955; Hantush, 1956; 1964; Boulton, 1963). Les valeurs douteuses déduites de l'interprétation de pompages d'essais défectueux (débits variables, air-lift, mesures erronées...) ont été éliminées. Dans la nappe des graviers les valeurs de Transmissivité les plus élevées sont situées le long de la Seybouse et les plus faibles à l'Ouest dans la région d'El-Kerma et à l'Est vers les marécages de Mekrada. Dans le massif dunaire, les transmissivités varient de $3 \cdot 10^{-5}$ à $1 \cdot 10^{-2}$ m²/s.

Les valeurs du coefficient d'emménagement sont en moyenne de 11.5 % pour les sables dunaires et correspondent à une nappe libre. Pour la nappe captive des graviers, elles varient de 10^{-4} à 10^{-3} dans le secteur de Dréan-Chihani où elle devient libre.

Le dépouillement des données a également permis de définir la perméabilité de l'horizon semi-perméable qui varie de 10^{-8} à 10^{-7} m/s.

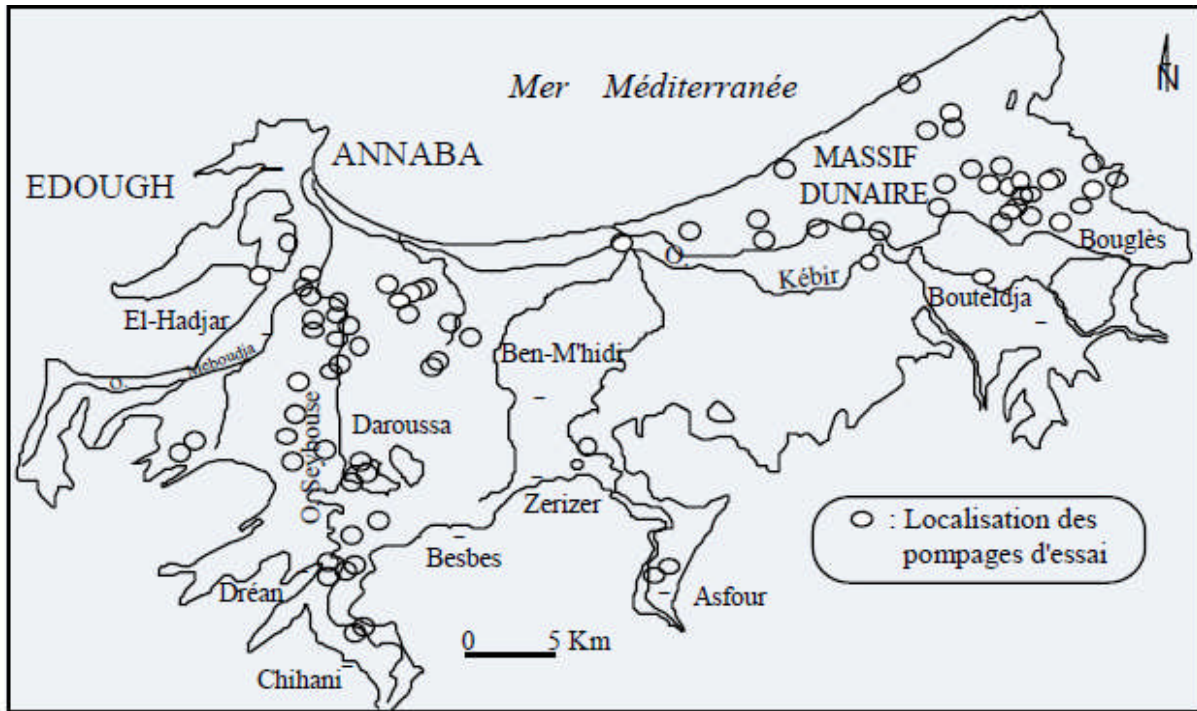


Fig. 13- Localisation des dispositifs des pompages d'essai dans la région d'Annaba – Bouteldja.

1 : Alluvions récentes et actuelles ; 2 : Dunes; 3 : Alluvions anciennes; 4 : Marécage ou lac ; 5 : Grés et argile numidiens ; 6 : Formations métamorphiques ; 7 : Faille ; 8 : Pompages d'essai ; 9 : Axe des fosses ; 2 : Tracé de coupe.

III.1 . Analyse et identification des modalités de transferts hydrauliques

Le dépouillement et l'analyse des données de pompages d'essai effectués dans les forages captant les nappes des graviers et des sables dunaires de Bouteldja ont permis de constituer une base de données assez importante. Elle a permis également de définir les principales modalités de transfert de débit dans le système aquifère (Djabri 2000). Les différents schémas hydrodynamiques dans ce système peuvent être de plusieurs types :

- Dans la région de Dréan, où les niveaux de graviers sont peu profonds (14 m), l'apparition d'un début de palier sur les courbes de descente dans le forage (fig. 14A) et dans le piézomètre (fig. 14B) indique un phénomène d'alimentation de la nappe des graviers par égouttement des alluvions de la Seybouse. Le niveau de la nappe au repos se trouve en effet à 9.72 m du sol, soit approximativement à une côte proche du niveau piézométrique des alluvions de la Seybouse.
- Ce type de schéma est aussi observé dans le massif de Bouteldja où l'hétérogénéité granulométrique des sables, plus fins dans la partie supérieure, entraîne l'apparition d'un palier suivi par un léger accroissement des rabattements typique du schéma de Boulton (fig.14C). En effet, il n'existe pas entre les sables fins à moyens superficiels et les sables grossiers de couche

semi-perméable. La faible durée de l'essai (24 heures) n'a point permis d'accéder à la période de la troisième phase où un accroissement des rabattements se manifeste à nouveau comme dans le cas théorique de l'égouttement répondant au schéma de Boulton.

- Dans le secteur central de la plaine de Annaba, l'horizon des graviers est captif sous une couche d'argile épaisse de 26 m. L'interprétation des données de pompage, observées sur le piézomètre de la figure 24, montre un ajustement parfait à la courbe standard de Theis et permet d'obtenir des valeurs de transmissivité et de coefficient d'emmagasinement identiques à celles calculées à partir de la droite de Jacob et à l'aide d'un programme automatique basée sur une procédure itérative (Mania, 1978) (tableau 14).

Tableau 14 : Résultats du pompage effectué dans le secteur central de la plaine d'Annaba.

Paramètres	Méthode			Méthode automatique (6 ^{ème} itération)
	Descente (Jacob)	Remontée (Jacob)	Descente (Theis)	
Transmissivité ($m^2 \cdot s^{-1}$)	3.5×10^{-3}	4.0×10^{-3}	3.5×10^{-3}	3.5×10^{-3}
Coefficient d'emmagasinement	3.6×10^{-4}	-	4.3×10^{-4}	4.0×10^{-4}

- Enfin, à l'Ouest d'El Hadjar, l'aquifère des graviers est alimenté à travers les argiles sableuses par une épaisse couche de sables alluvionnaires qui joue le rôle du niveau d'eau constant du schéma de Hantush. La nappe superficielle serait dans ce cas alimentée de manière constante par l'oued Meboudja. Les courbes bilogarithmiques des figures 14 E et 14F montrent une superposition parfaite des points expérimentaux à l'une des courbes de Hantush.

D'une manière générale, l'interprétation d'un nombre considérable de données de pompage d'essai, selon des schémas analytiques très variés, a permis de constituer un stock d'information très dense. Elle a permis également de mettre en évidence l'existence d'hétérogénéités assez importantes dues en général aux transferts de débit issus des oueds, de la drainance d'aquifères annexes et de l'égouttement des niveaux aquifères superficiels.

Néanmoins, la concentration des pompages d'essai au niveau de certains secteurs réputés favorables (champs de captage de Bouteldja, des Salines, d'Allélick et de Pont Boucher) a eu des conséquences négatives sur l'équilibre des aquifères (apparition de zones de dépression en particulier) et une méconnaissance relative des caractéristiques hydrodynamiques sur de vastes zones (Nafaa, 1985).

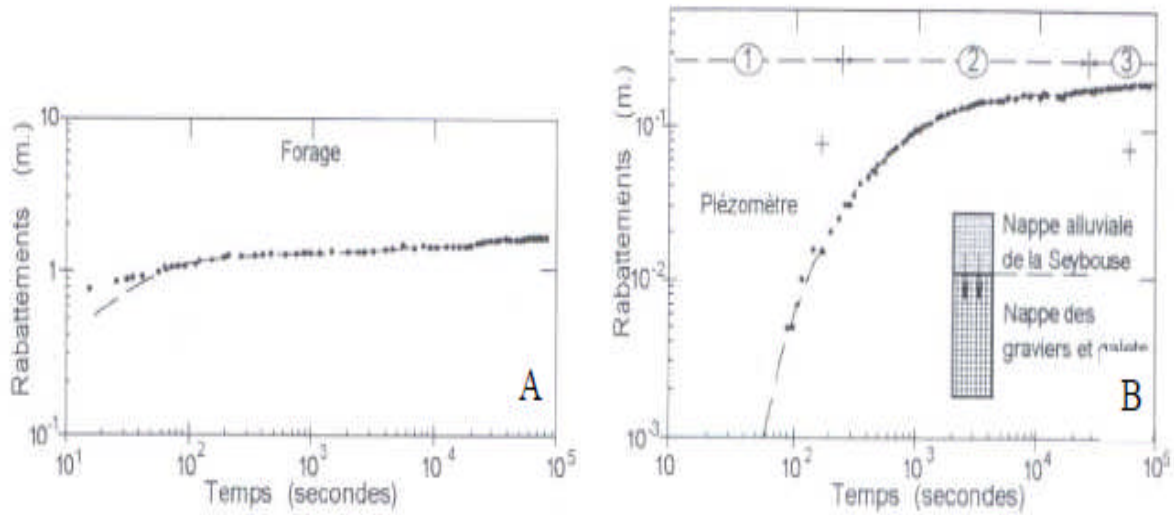


Fig. 14 A - B – Pompage d’essai dans la nappe des graviers dans la région de Dréan-
Graphique de descente :A) Dans le forage ;B) dans le piézomètre.

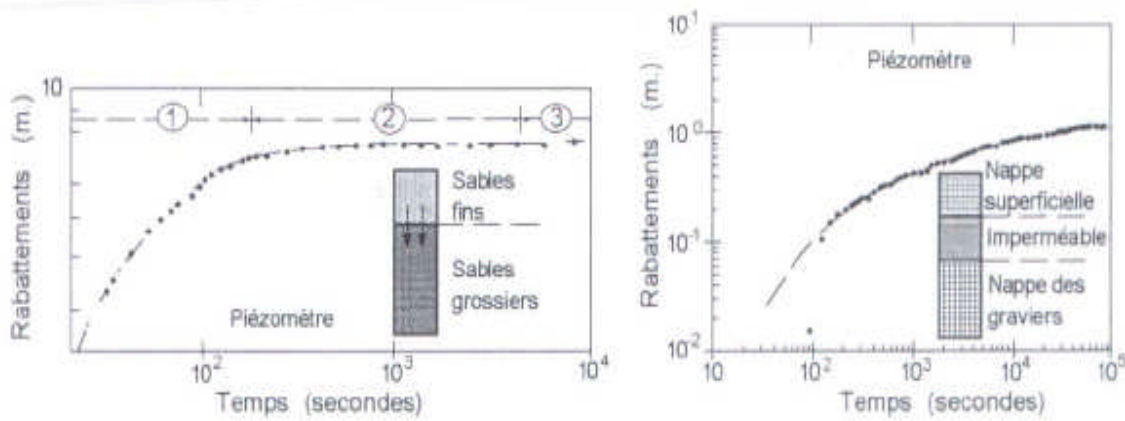


Fig. 14C – Pompage d’essai dans l’aquifère Sableux de Bouteldja.

Fig. 14D – Pompage d’essai dans l’aquifère des graviers dans le secteur central de la plaine d’Annaba.

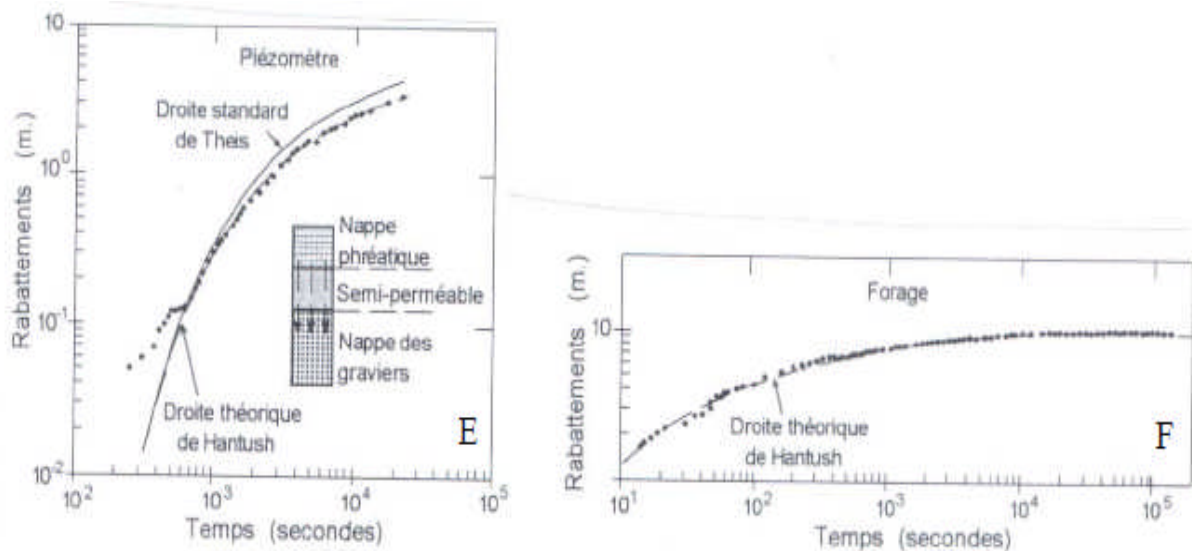


Fig. 14 E-F – Pompage d’essai dans la nappe des graviers dans le secteur ouest d’El- Hadjar. E) bilogarithmique dans le piézomètre ; F) bilogarithmique dans le forage.

III.2- Cartographie des transmissivités

Le krigeage ordinaire des transmissivités a été effectué aux nœuds des mailles carrées de 1km de côté. La carte des transmissivités krigées (Hani, 2003) (fig. 15) montre:

- un secteur de fortes valeurs correspondant à deux zones bien distinctes. La première se situe le long de la vallée de la Seybouse et coïncide avec l’axe de la fosse de Ben-Ahmed. Les coupes géologiques des forages permettent de reconnaître dans ce secteur, deux niveaux de graviers uniformes et dépourvus de matériaux fins. Le premier, reconnu par les forages à une profondeur de 35 m, présente une épaisseur de près de 8 m tandis que le second, plus profond, peut atteindre 40 m d’épaisseur au milieu de la fosse. Il convient également de remarquer que le remplissage de la fosse par des sédiments plio-quaternaires grossiers a permis la formation d’une importante zone d’accumulation à écoulement préférentiel (voir carte piézométrique).

La seconde zone se localise dans la partie orientale du massif dunaire. Dans ce secteur, les sables éoliens qui surmontent les alluvions de la fosse d’effondrement de Ben-Mhidi, présentent des caractéristiques hydrodynamiques exceptionnelles.

- Les plus faibles transmissivités sont situées à l’Est de Ben-M'hidi et s’étendent sur toute la partie littorale du massif dunaire.

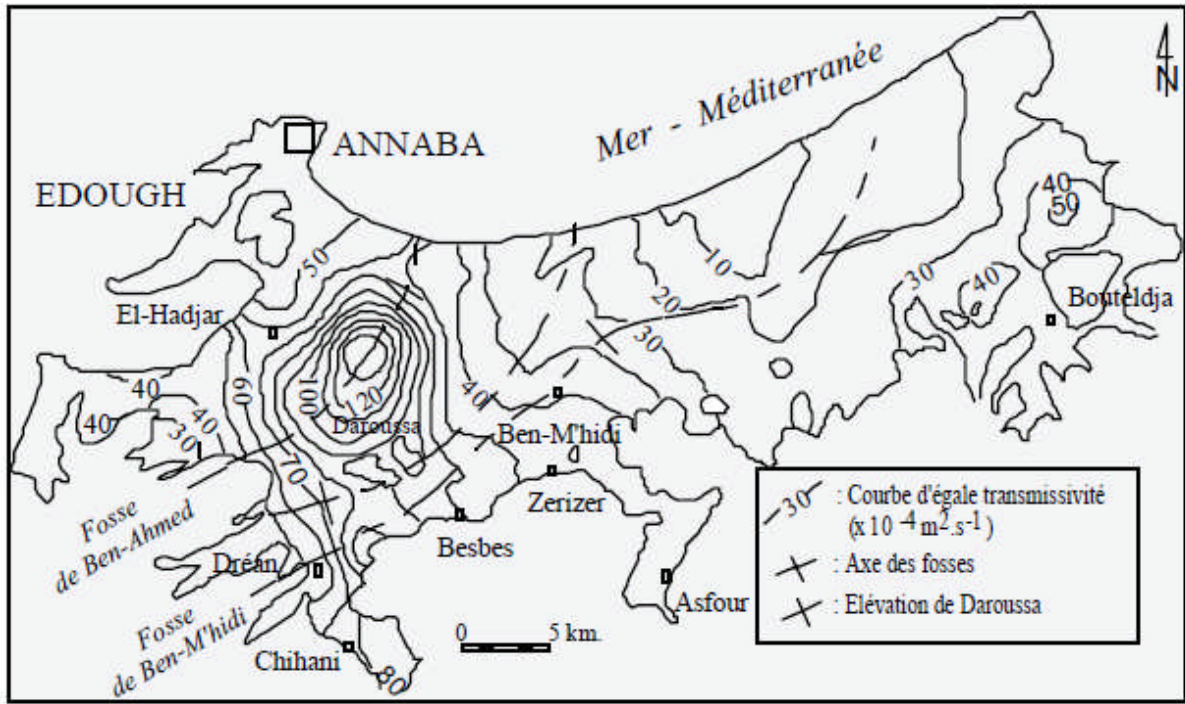


Fig. 15 - Carte des transmissivités krigées

III.3- Conclusions

L'analyse des paramètres hydrodynamiques dans le système aquifère de Annaba-Bouteldja, a permis d'identifier trois classes ;

- la première, correspondant aux plus faibles valeurs de Transmissivités, de débit spécifique et de perméabilité, est formée par les forages captant les sables à passées graveleuses de la bordure Ouest de la plaine de Annaba et surtout les formations dunaires ;

- la deuxième, formée par les forages caractérisés par des valeurs intermédiaires, est localisée dans les secteurs de contact nappe dunaire-nappe des graviers à l'Est et sur les flancs de la fosse de Ben-Ahmed à l'Ouest ;

- enfin, la troisième caractérisée par les plus fortes valeurs, se localise le long de la vallée de la Seybouse et à l'Est dans la partie orientale du massif dunaire où les sables éoliens surmontent les dépôts alluviaux de la fosse d'effondrement de Ben-Mhidi. Si l'on pose le tracé des structures tectoniques sur la carte des transmissivités déduites du krigeage, on s'aperçoit que la distribution spatiale des deux objets l'un par rapport à l'autre, n'est pas aléatoire. En effet, les zones les plus transmissives ($7 \cdot 10^{-3}$ à $1.3 \cdot 10^{-2}$) coïncide avec l'axe de la fosse de Ben-Ahmed. Les coupes géologiques des forages permettent de reconnaître dans ce secteur, deux niveaux de graviers uniformes et dépourvus de matériaux fins. Le premier, reconnu par les forages à une profondeur de 35m, présente une épaisseur de près de 8 m tandis que le second, plus profond, peut atteindre 40m d'épaisseur au milieu de la fosse. Il convient également de remarquer que le remplissage de la fosse par des sédiments plio-quadernaires grossiers a permis la formation d'une importante zone d'accumulation à écoulement préférentiel. La seconde zone de bonne Transmissivités se localise dans la partie orientale du massif dunaire. Dans ce secteur, l'épaisseur des dépôts alluviaux de la fosse d'effondrement de Ben-Mhidi peut atteindre près de 70m. Entre ces deux zones d'accumulation, le secteur situé sur le prolongement de la butte de Daroussa s'est vraisemblablement trouvé à l'abri des apports alluviaux d'où l'absence de niveaux grossiers de remplissage. Cette situation se traduit par des valeurs de transmissivité relativement plus faibles. Les cartes obtenues peuvent être utilisées aussi bien pour localiser les zones favorables à l'implantation de captage des eaux souterraines, que pour aider au calage des modèles de simulation des écoulements souterrains et de transferts de polluants.

.

IV.I- Introduction

Le développement économique de la région de d'Annaba et EL TARF, et particulièrement la croissance des activités agricoles et la forte expansion démographique, ont fait que les eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées par les utilisateurs, avec une surexploitation de la nappe, malgré la baisse des niveaux piézométriques constatée depuis près d'une vingtaine d'année.

L'alimentation directe par les eaux de pluie n'arrive plus à rétablir l'équilibre de la nappe, par suite des conditions climatiques difficiles et des sécheresses à répétition.

Ozler et Younsi définissent l'intrusion marine comme la migration des eaux salées dans les eaux douces de l'aquifère, sous l'influence de l'évolution des ressources en eaux de la nappe.

Le mouvement se fait naturellement, soit à l'intérieur des terres, on parle ainsi de mouvement descendant des sources de surface et des eaux d'irrigation vers l'aquifère et de mouvement ascendant des formations inférieures vers l'aquifère, soit dans les zones côtières, où les eaux de l'aquifère sont connectées hydrauliquement avec l'eau de mer. Dans ce dernier cas, les deux systèmes ne se mélangent pas, puisque les eaux salées se déplacent au-dessous des eaux douces, par suite de la différence de densité entre les deux types d'eau.

Plusieurs auteurs (El Achheb *et al.* 2001 ; Trabelsi *et al.* 2005 et Younsi *et al.*, 1997) ont essayé, par des méthodes analytiques et numériques de modélisation, de décrire le phénomène, de prévoir la position de l'interface entre eau douce et eau marine et de prévoir les changements des niveaux piézométriques et de la salinité. La caractérisation du phénomène d'intrusion nécessite une approche multidisciplinaire. La démarche consiste à établir la structure géologique et à déterminer les propriétés hydrologiques et géochimiques, à travers un nombre suffisant de mesures et d'analyses pour caractériser les sources et les origines de la salinisation, la localisation de l'interface et les fonctions qui engendrent son évolution spatio-temporelle. Plusieurs auteurs (El Achheb *et al.*, 2001 ; Trabelsi *et al.*, 2005) ont essayé de définir les processus et les réactions chimiques qui caractérisent la minéralisation et seraient ainsi responsables de l'enrichissement ou de l'appauvrissement des eaux souterraines en éléments chimiques. Ainsi, dans les différentes études réalisées (Khérici, 1993 ; Djabri, 1996 ; Debieche, 2002 ; Hani, 2003) sur la nappe des graviers de la plaine d'Annaba, la forte salinité des eaux est expliquée par l'infiltration des eaux à partir de la nappe superficielle dans la partie sud. Par contre dans la partie nord, on observe une pollution représentée par une augmentation de la salinité des eaux, ainsi que des teneurs en Na⁺, Cl⁻ et K⁺, indiquant l'effet d'une salinité d'origine marine.

L'objectif spécifique de la présente étude englobe la caractérisation géochimique de système aquifère étalons dans la région d'ANNABA et El-TARF et l'identification des processus et des réactions chimiques qui gouvernent sa salinisation et la détermination et les zone vulnérable.

1-Cas de Région d'Annaba

1.1. Les eaux souterraines la région du lac Fedzara

La qualité des eaux reste un atout important pour déterminer l'utilisation de ces eaux. Cette qualité diffère d'un horizon à un autre ce qui oblige le chercheur à donner les indications concernant chaque horizon étudié. Dans ce travail nous nous intéressons aux eaux prélevées à différentes profondeurs. Notons que les éléments majeurs et les éléments traces ont été dosés.

1.1. 1 .Eléments majeurs

a. Statistiques élémentaires

L'étude statistique réalisée porte sur 45 échantillons prélevés au cours des mois de Janvier, Mars et Mai 2010 sur les eaux souterraines. Le tableau suivant (tableau 33), montre que la conductivité des eaux varie de manière significative, elle passe de 385 à 10740 μcm , ce qui implique que les eaux peuvent atteindre une salinité conséquente. Au niveau des éléments majeurs on retrouve la même évolution pour les éléments suivants : Na^+ , HCO_3^- et Cl^- . Cette évolution semble dictée par la pluviométrie. En effet les précipitations enregistrées au cours des mois considérées n'est pas identique et par conséquent influence les eaux différemment. Pour visualiser les liens existant entre les éléments chimiques nous allons réaliser une analyse en composantes principales.

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
CE	45	45.00	1582.33	1645.12	385.00	10740.0
Ca^{+2}	45	45.00	59.20	34.12	18.40	167.00
Mg^{+2}	45	45.00	64.04	31.61	10.56	156.48
Na^+	45	45.00	300.63	144.47	104.05	663.24
K^+	45	45.00	5.28	4.94	0.00	24.91
HCO_3^-	45	45.00	362.45	108.22	169.58	611.22
Cl^-	45	45.00	414.95	316.37	78.10	1368.00
SO_4^{-2}	45	45.00	162.28	95.48	42.85	418.08

Tableau 15: Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux souterraines

b. Analyse en composantes principales

L'ACP, a pour but la détermination des liens existants entre les éléments et leurs origines. Dans le cas présent on a utilisé 45 analyses chimiques et huit variables. Le nombre de variable huit a été pris après plusieurs essais, en effet quelques variables tel que le pH ont diminué l'inertie totale et de ce fait ont été éliminés. L'inertie ou l'information totale donnée dans le cas présent est de 57 %, alors qu'avec les autres éléments elle ne dépasse pas 35 %.

b.1. Observation du cercle ACP

Le cercle formé par les deux axes F1F2, montre selon l'axe horizontal F1 (37%), une opposition entre les eaux fortement minéralisées (riches en chlorures, bicarbonates, magnésium et sodium) et occupant la partie négative de l'axe F1, s'opposent aux eaux faiblement minéralisées caractérisant la partie positive de l'axe F1 (figure 16).

Concernant l'axe vertical F2 (20%), on note une opposition entre le potassium et les sulfates. Cette évolution confirme bien l'effet des précipitations sur la composition chimique des eaux. Lors des pluies les apports en eau vers le lac en provenance du massif de l'Edough et par le biais des interactions eau roche, enrichissent les eaux en potassium contenu dans les formations métamorphiques (in Majour, 1996). Notons par ailleurs que les faibles concentrations en

Concentrations en sulfates sont surtout dues au fait que les formations évaporitiques sont absentes dans cette zone (in Djabri 2007).

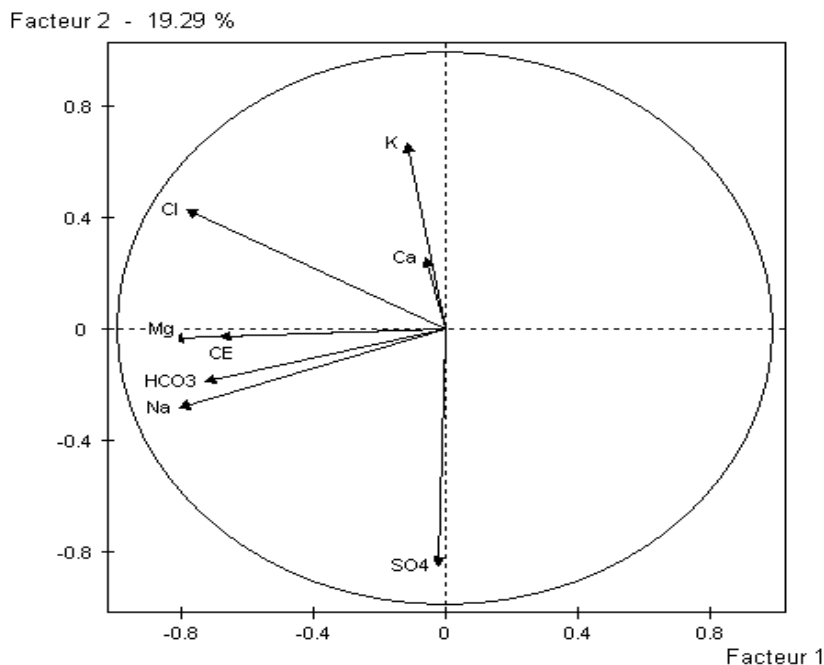


Figure 16: Cercle ACP des eaux souterraines (Éléments majeurs).

Pour confirmer l'hypothèse avancée nous avons comparé (tableau 15), la variation des concentrations du potassium et des sulfates entre deux périodes de prélèvement suivantes mois de Janvier et mois de Mars 2010.

Puits	Sulfates (SO ₄ ²⁻ en mg/l)		Potassium (K ⁺ en mg/l)	
	Janvier 2010	Mars 2010	Janvier 2010	Mars 2010
P1	117,60	53,76	11,70	24,91
P5	204,00	184,80	6,08	9,42
P7	82,56	107,52	12,30	0,02
P9	73,44	60,00	11,98	1,12
P12	76,32	306,24	2,10	0,57
P15	201,60	84,96	9,70	11,63
P18	92,64	143,04	7,60	6,65
P22	254,40	42,85	2,30	0,00
P24	171,84	70,56	2,58	2,34
P26	84,00	66,24	1,78	0,66
P30	245,76	293,76	3,25	1,68
P32	239,04	156,00	6,70	7,21
P34	90,72	117,60	1,12	0,57
P36	197,76	238,56	1,48	1,12
P38	87,84	293,76	2,31	0,02
P41	99,84	85,44	5,66	4,44

Tableau 16 : Variations du Potassium et des Sulfates entre les mois de Janvier et Mars 2010.

On remarque surtout une baisse très sensible au niveau des sulfates. Ces concentrations peuvent baisser de moitié cas du P24 et P32. Le potassium n'étant pas lui-même important et le temps de séjour des eaux de pluie dans les réservoirs des sources est trop court de ce fait la variation n'est pas encore généralisé.

b.2. Matrice de corrélation

Cette matrice (tableau 35), nous permet de dégager les associations qui peuvent exister entre les éléments chimiques. Dans le cas présent $n = 45$, de ce fait le coefficient de corrélation adopté sera $r = 0.54$. Nous pouvons ainsi dégager les associations suivantes :

$$\text{CE--Na}^+, r = 0.49 \quad \text{Mg}^{+2}\text{--Na}^+, r = 0.52 \quad \text{Na}^+\text{--HCO}_3^-, r = 0.51$$

CE--Cl⁻, r = 0.46 Mg⁺²--HCO₃⁻, r = 0.62 Na⁺--Cl⁻, r = 0.59
 Mg⁺²--Cl⁻, r = 0.59

	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
CE	1.00							
Ca ⁺²	0.04	1.00						
Mg ⁺²	0.39	0.19	1.00					
Na ⁺	0.49	-0.18	0.52	1.00				
K ⁺	0.01	0.04	0.10	-0.03	1.00			
HCO ₃ ⁻	0.36	0.01	0.62	0.51	-0.01	1.00		
Cl ⁻	0.46	0.09	0.59	0.59	0.22	0.33	1.00	
SO ₄ ⁻²	0.01	-0.04	0.13	0.25	-0.30	0.08	-0.38	1.00

Tableau 17: Matrice de corrélation des eaux souterraines

Nous remarquons que la salinité des eaux est particulièrement due aux chlorures et au sodium. Les eaux sont caractérisées par la présence de trois faciès : chloruré sodique, chloruré calcique et bicarbonaté sodique (figure 40).

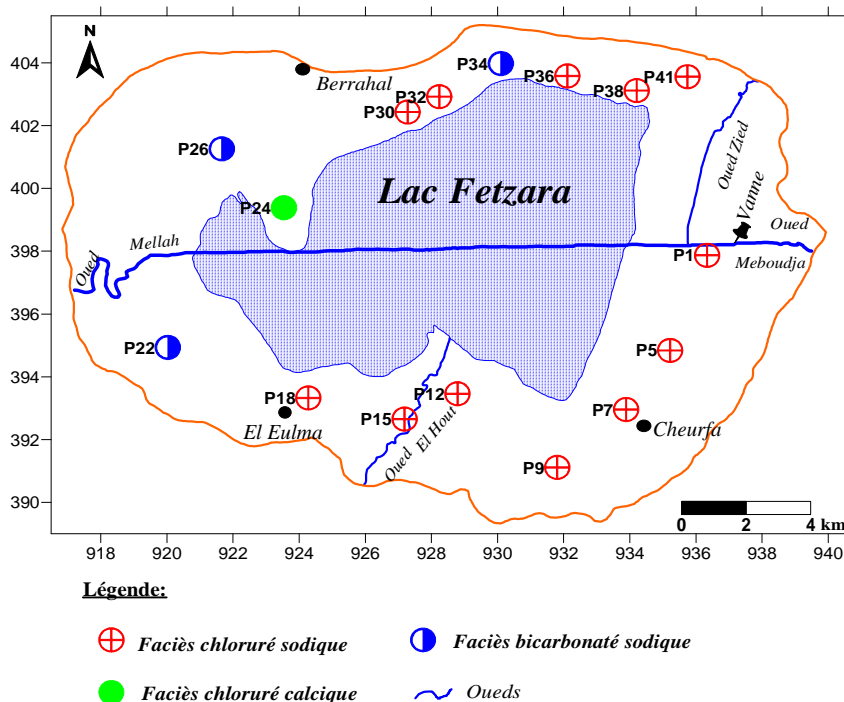


Figure 17 : Faciès chimiques des eaux souterraines (Mars 2010).

I.2. Les eaux de surface

Les analyses chimiques des eaux de surface (oued Mellah, Zied, El Hout et Meboudja) ont été effectuées sur 50 observations se rapportant à trois campagnes d'échantillonnages (Janvier, Mars et Mai 2010).

I.2.1. Eléments majeurs

1.2.1.1. Statistiques élémentaires

Les concentrations observées au niveau des eaux de surface (oued Meboudja, Zied, El Hout et Mellah) sont reportées dans le tableau ci-après (tableau 18).

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moy	Ecart-type	Min	Max
Q	35	35.00	0.28	0.37	0.002	1.232
CE	50	50.00	1474.40	775.83	258.00	3080.00
Ca ⁺²	50	50.00	82.22	26.96	22.40	131.20
Mg ⁺²	50	50.00	57.22	33.96	8.88	119.28
Na ⁺	50	50.00	294.83	132.64	20.70	494.50
HCO ₃ ⁻	50	50.00	238.54	32.70	123.22	291.58
Cl ⁻	50	50.00	454.83	243.08	71.00	880.40
SO ₄ ⁻²	50	50.00	121.23	66.31	24.00	299.04

Tableau 18 : Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux de surface.

On remarque qu'au niveau des cations le sodium domine tandis que pour les anions il y a une compétition entre les chlorures et les bicarbonates, cette compétition serait liée à la période de prélèvement (Janvier, Mars et Mai 2010) caractérisant une période pluvieuse.

2.1.1.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation (tableau 37) présente les différentes corrélations entre les variables prises deux à deux, elle nous permet de dégager les associations suivantes :

$$\text{CE} \text{---} \text{Ca}^{+2}, \quad r = 0.64 \qquad \text{CE} \text{---} \text{Cl}, \quad r = 0.94$$

$$\text{CE} \text{---} \text{Mg}^{+2}, \quad r = 0.64 \qquad \text{Ca}^{+2} \text{---} \text{SO}_4^{-2}, \quad r = 0.61$$

$$\text{Na}^{+} \text{---} \text{Cl}, \quad r = 0.89$$

	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
CE	1.00						
Ca ⁺²	0.64	1.00					
Mg ⁺²	0.64	0.41	1.00				
Na ⁺	0.85	0.46	0.31	1.00			
K ⁺	0.22	0.07	-0.27	0.39	1.00		
Cl ⁻	0.94	0.51	0.57	0.89	0.28	1.00	
SO ₄ ⁻²	0.25	0.61	0.14	0.34	-0.18	0.15	1.00

Tableau 19: Matrice de corrélation des eaux de surface.

1.2.1.3. Observation du cercle ACP

Le cercle réalisé par les deux F1F2, montre selon l'axe horizontal F1 (52.32 % de la variance), une opposition entre les eaux fortement minéralisées (riches en chlorures, magnésium et sodium) et occupant la partie positive de l'axe F1 et s'opposent aux eaux faiblement minéralisées caractérisant la partie négative de l'axe F1 (figure 18).

Selon l'axe F2 (20.94 % de la variance) on observe une opposition entre le calcium (Ca⁺²) et les bicarbonatés (HCO₃⁻) (figure 18).

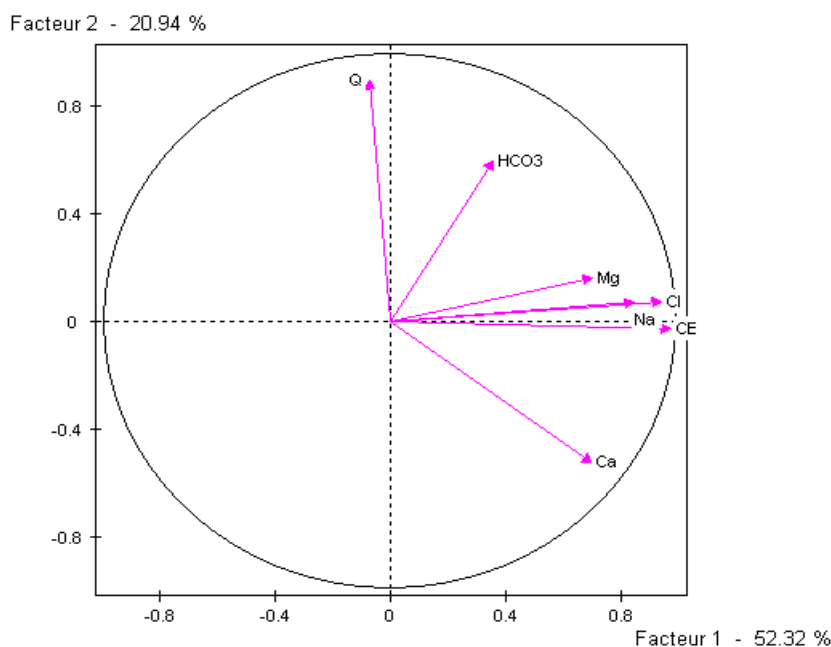


Figure 18 : Cercle ACP des eaux de surface (Eléments majeurs).

La carte ci-dessous (figure 18) montre que les eaux superficielles de la région du lac Fetzara sont caractérisées par la présence de deux faciès chimiques dominants, l'un chloruré sodique caractérise les eaux de oued Meboudja, oued Zied, oued El Hout et l'aval de oued Mellah (Me14). L'autre bicarbonaté sodique caractérise les eaux d'oued Mellah. Ce faciès serait lié aux échanges de bases.

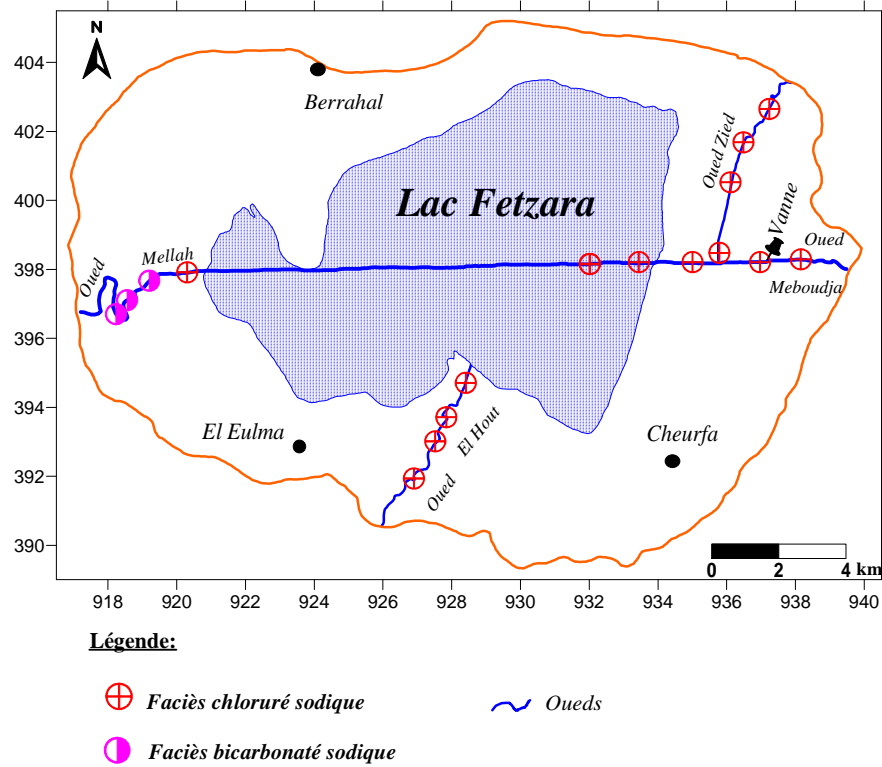


Figure 19 : Faciès chimiques des eaux de surface (Mars 2010)

Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux de la plaine d'Annaba, montre une forte salinité des eaux. Deux faciès dominants sont observés, l'un chloruré sodique et l'autre, bicarbonaté sodique. L'observation du contexte géologique du site et de la répartition spatiale des éléments chimiques montre que son origine est liée principalement à la dissolution des formations évaporitiques et carbonatées et à l'invasion des eaux de mer.

La détermination du bilan ionique entre les éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-) qui caractérisent les formations argileuses principales du site, nous a permis de montrer la dominance des ions salifères (Na^+ et Cl^-) par rapport au gypse (Ca^{2+} et SO_4^{2-}) et aux carbonates (Ca^{2+} et HCO_3^-) dans l'augmentation de la salinité, ainsi que l'existence du phénomène d'échange de base entre les eaux de la nappe et les formations géologiques.

Les diagrammes croisés des concentrations des différents ions analysés en fonction des chlorures identifient trois processus responsables de la salinisation des eaux de la nappe des graviers

- 1) l'intrusion d'eau marine dans la nappe le long de la partie littorale (biseau salé),
- 2) la dissolution de la formation aquifère (carbonatée et évaporitiques) et
- 3) le retour des eaux d'irrigation chargées en sels dans les périmètres irrigués.

2-Cas de la région d'EL TARF

2.1. La chimie des eaux

2.1.1.Introduction :

L'étude chimique de l'eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie....).

La composition chimique de l'eau peut évoluer durant son transit, ainsi l'information recueillie au niveau de la source est fonction de la nature du réservoir et également des minéraux rencontrés, du temps de transit et des conditions permettant ou non la conservation des hétérogénéités du réservoir à l'exutoire.

2.1.2.Mode d'échantillonnage et acquisition des données :

Cette étude chimique est fondée sur une analyse complète des échantillons au niveau des sources réparties dans le massif dunaire de Bouteldja (les coordonnées géographiques sont montrées dans l'annexe) (fig. 20).

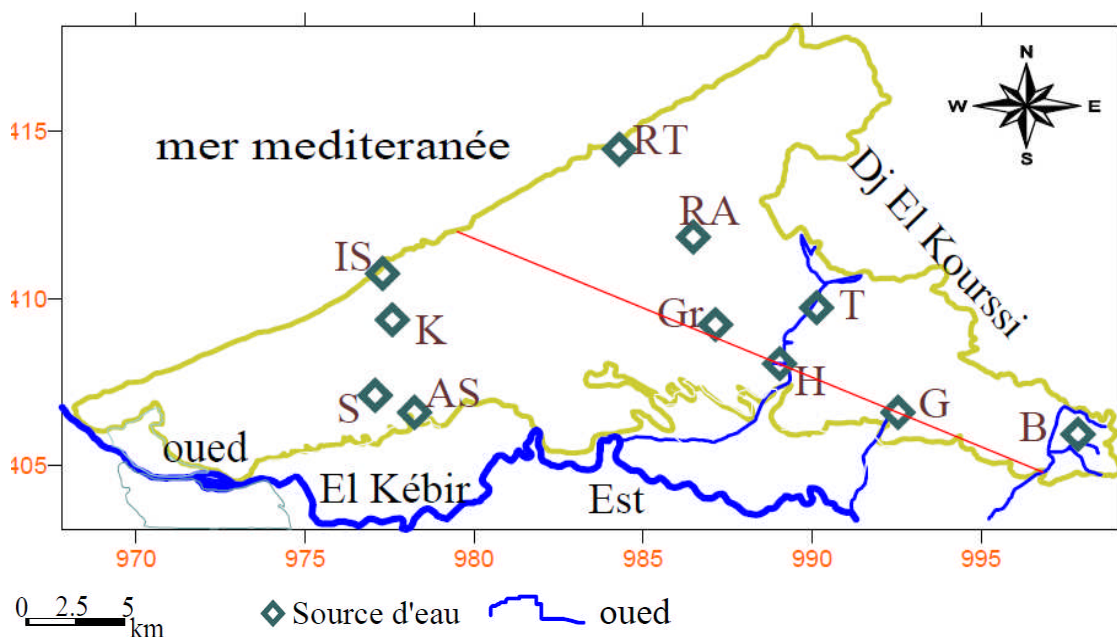


fig. 20 : Localisation géographique des onze sources dans le massif dunaire de Bouteldja.

Pour atteindre cet objectif, deux (02) campagnes de prélèvement et d'analyses ont été réalisées, la première se rapporte au mois de janvier 2010 et l'autre concerne le mois de juillet 2010. Onze (11) sources réparties à travers le massif dunaire de Bouteldja ont fait l'objet de mesures sur site et ont porté sur les paramètres physiques suivant : pH, conductivité électriques la température.

Par ailleurs, l'analyse chimique effectuée en labo a portée sur les éléments suivants: Ca ²⁺, Mg ²⁺, Na ⁺, K⁺, Cl ⁻, SO₄ ²⁻, HCO₃ ⁻ et aussi sur l'oxygène dessous, le résidu sec, l'ammonium, les nitrites et les nitrates (les analyses ont été faites au niveau du laboratoire centrale de Constantine).

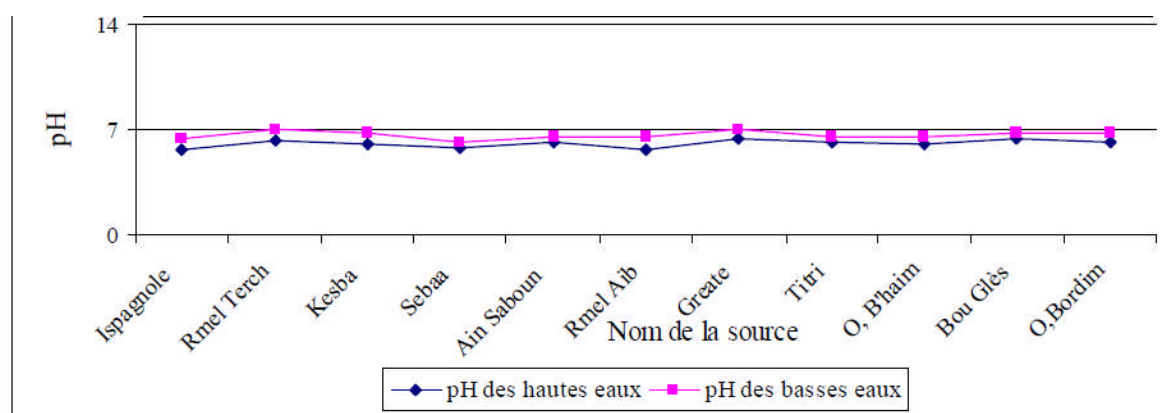
2.1.3. Etudes des paramètres physiques :

a. Le potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (Castany, Margat, 1977) .

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie. Les résultats des mesures du pH sont enregistrés sur le tableau.

Fig :21 Evolution du pH des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja



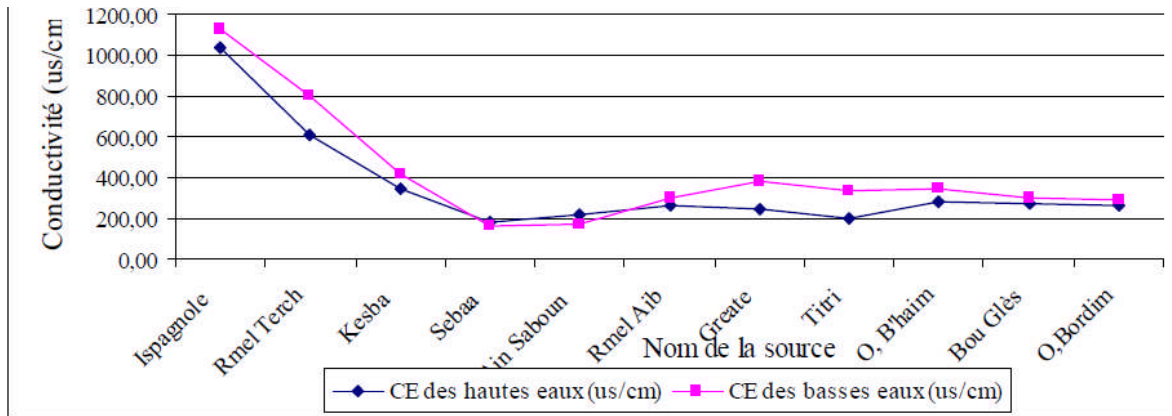
Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. D'une manière générale les eaux du massif dunaire de Bouteldja (fig.21) présentent un pH oscillant entre 5.5 et 7 proche de la neutralité. Donc, les eaux de la nappe dunaire de Bouteldja sont dans l'ensemble acides.

b. La Conductivité électrique (CE):

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes, la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés d'électron, la mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, la conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante

lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en terme de conductivité équivalente à 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion.

Fig. 22 : Evolution de la conductivité électrique des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja



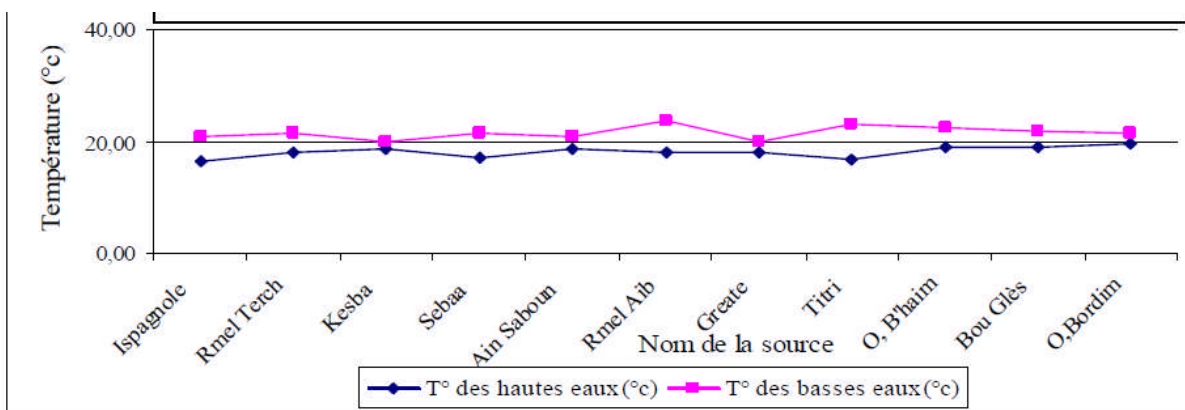
Les résultats des mesures ont permis d’observer la variation de la conductivité (fig.22), montrant que celle-ci variée entre 150 et 1100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et ceci pendant les deux périodes considérées. les valeurs de CE diminuent en s’éloignant du littoral en allant à l’intérieur du massif dunaire. la présence des marécages influence de plus sur l’augmentation de CE (le cas de Greate et le secteur oued B’haim).

c. La Température (T):

La température de l'eau est un paramètre important car elle permet de déterminer l’utilisation des eaux pour le confort des usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment).

De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

Fig. 23 : Evolution de la température des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja



La température des eaux (fig.23) avoisine toujours 20°C et ceci durant les deux périodes d'observations.

2.1.4. Etude des paramètres chimiques:

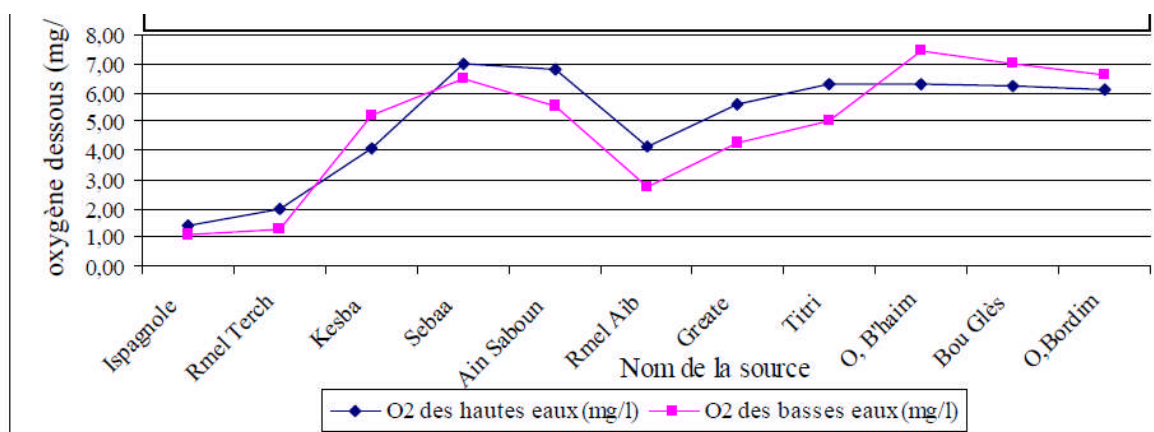
a. Oxygène dessous (O₂):

Exprime la concentration en (mg/l) d'oxygène dessous, sa présence dans les eaux superficielles joue un rôle dans le maintien de la vie aquatique. La diminution de sa teneur génère un milieu favorable à la fermentation et aux dégagements d'odeurs.

L'appauvrissement du milieu en O₂ dissous provoque le développement d'algues et végétaux ainsi que l'apparition de pollution bactériologique (Rodier, 1996).

Sa solubilité baisse avec l'augmentation de la température et sa densité diminue dans un milieu chargé en sel.

Fig.24 : Evolution de l'oxygène dessous des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja



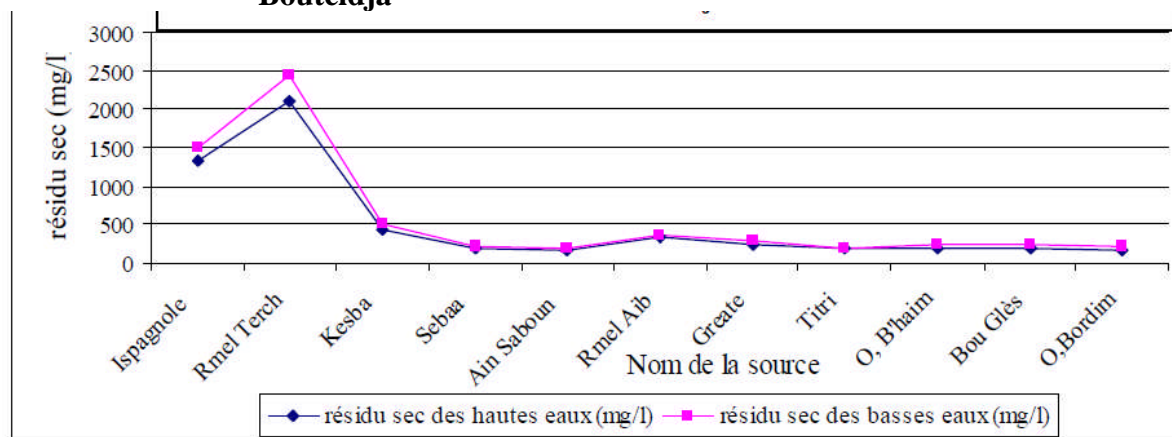
D'une façon générale, les teneurs en oxygène dessous (O₂) sont comprises entre 1 et 7 mg/l (fig.24), ces teneurs n'expriment pas une forte pollution organique.

Les faibles teneurs sont remarquées au niveau de Rmel Terch et la source Espagnole (<2).

b. Résidu sec (Rs):

Les analyses chimiques des résidus secs dans le massif dunaire de Bouteldja montrent que les valeurs les plus répandues s'échelonnent entre 150 et 250 mg/l. La faiblesse du résidu sec s'explique par le fait que les eaux de la nappe dunaire circulent rapidement dans des terrains essentiellement siliceux où les ions solubles ont été en grande partie lessivés.

Fig. 25 : Evolution du résidu sec des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja



Les valeurs les plus basses, inférieure à 200 mg/l, apparaissent au niveau du secteur oued B'haim, secteur Sebaa, Bou Glès et Bourdim dans le massif dunaire de Bouteldja, il y a toutefois dans le secteur, une anomalie à 300 mg/l qui contourne la zone marécageuse d'El Goureate et Sr Kesba. Alors que dans la zone proche du littoral et la moitié occidentale du massif dunaire semblent être caractérisées par un résidu sec plus élevé, atteignant les 2500 mg/l pour la source de Rmel Terch mettant ainsi en évidence le rôle de l'évaporation dans l'augmentation de la salinité et donc sur la teneur du résidu sec (fig.25).

c. Les ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorures, sulfates, et bicarbonates et nitrates.

Notre étude hydrochimique a été menée sur les onze (11) sources (fig.20), la critique des données est faite par la vérification de la précision des analyses chimiques en calculant la balance ionique (BI) qui est la suite (Djabri, 1996) :

$$BI = \frac{(\sum \text{cations} - \sum \text{anions})}{(\sum \text{cations} + \sum \text{anions})} \times 100 \%$$

Dans l'ensemble, les échantillons analysés ont des BI < 6 %, on les a considéré comme fiables, malgré les erreurs dues à la méthodologie employée et aux éléments non dosés.

2.1.5. Faciès chimiques :

Cependant le rapport des valeurs, après avoir calculé la balance ionique, nous a permis de déterminer les faciès chimiques de chaque une des sources qui sont réparties dans le massif dunaire de Bouteldja. Le tableau ci – dessous représente les faciès chimiques des sources :

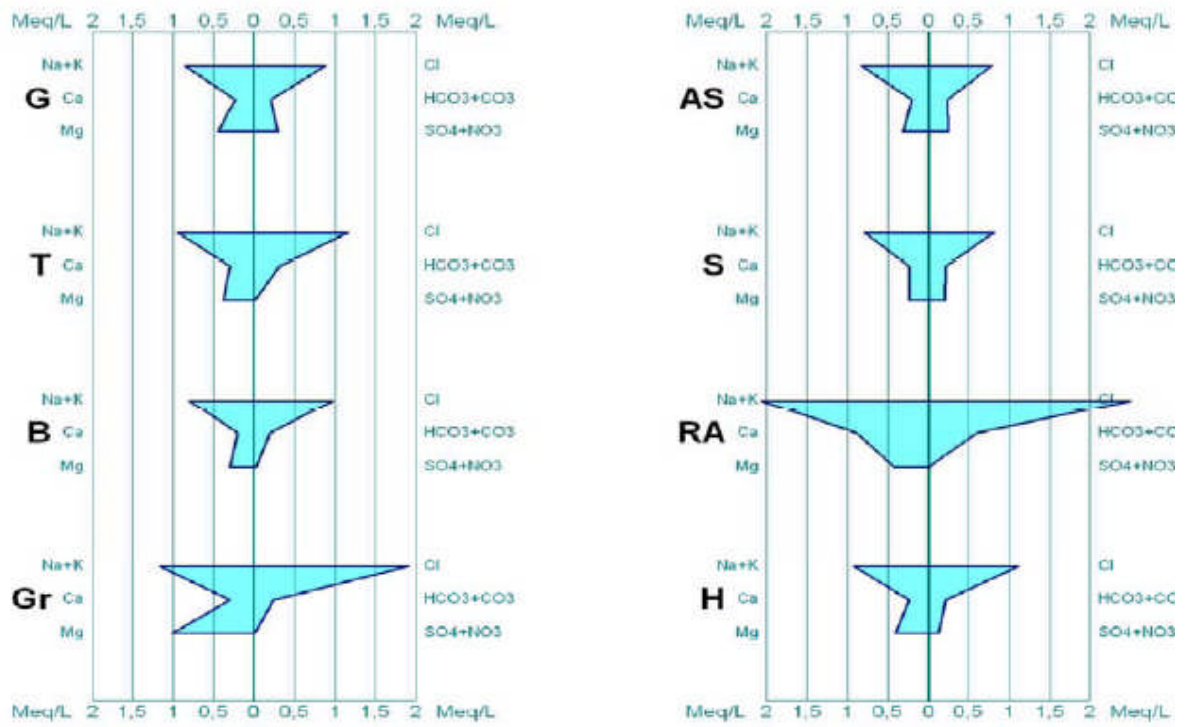
La source	Formule ionique	Faciès chimique
<i>Sr Bou Glès (G)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr Titri (T)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr oued Bourdim (B)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>El Greate (Gr)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr Ain Saboum (AS)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr Sebaa (S)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr Rmel El Terch (RT)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr Espagnole (IS)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr Kasba (K)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr Rmel El Aib (RA)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique
<i>Sr oued B'haim (H)</i>	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{2+}, rCl > rSO_4 > rHCO_3^-$	Chloruré sodique

Tableau n°20 : Formule ionique et faciès chimique des eaux des sources réparties dans le massif dunaire de Bouteldja (année 2010).

Les résultats d'analyse chimique effectués et reporté sur le tableau ci - dessus, indiquent qu'au coté cation, le sodium est le cation dominant suivi par le magnésium. Au niveau des anions, les chlorures dominant et sont suivis par les bicarbonates. Pour visualiser cette répartition on a déterminé les faciès chimiques en utilisant le diagramme de STIFF.

Dans leur totalité, les eaux de la nappe dunaire de Bouteldja présentent (fig.26) un faciès chloruré sodique, en relation avec le lieu de prélèvement et sa géologie locale.

Milliequivalent maximal : 2 , interval Meq : 0.5



Milliequivalent maximal : 20 , interval Meq :4

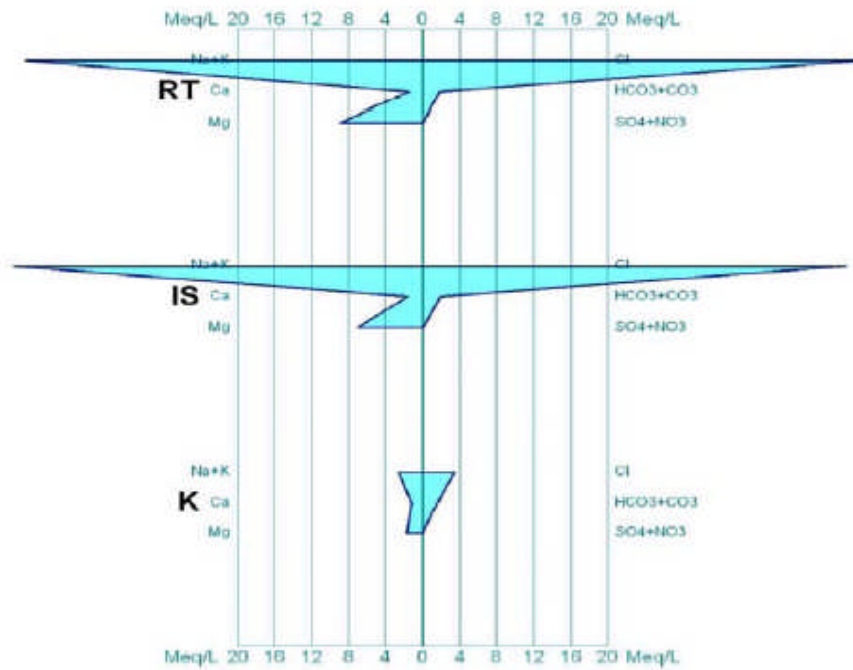


Fig.26 Digramme de Stiff

2.2. Qualité des eaux :

La qualité des eaux, d'une façon générale, doit être évaluée aujourd'hui car on sait bien que les eaux souterraines sont vulnérables aux pollutions diffuses, qui se manifestent souvent après un temps d'accumulation (Jourda, 1991).

La qualité des eaux souterraines s'est dans l'ensemble beaucoup dégradée. Même si les responsabilités sont partagées, les pollutions d'origine agricole restent les premières responsables de la dégradation récente. La qualité naturelle des eaux souterraines, va donc être naturellement influencée par ce que les géologues appellent le « fonds géochimique ».

L'évolution de l'indice d'altération et l'étendue des périmètres de protection à partir des méthodes de vulnérabilité nous permet de bien avoir une idée sur la pollution de l'eau et pour la protection des nappes d'eaux souterraines et donc de garder une bonne qualité des eaux

2.2.1. Degré d'altération des eaux des naturelles :

a. Classification des éléments chimiques par classes d'altération :

Les éléments chimiques analysés (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- et R.S) sont classés par tranches en fonction des teneurs des éléments et selon les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).

Le tableau ci – dessous montre les concentrations des éléments chimiques représentés en quatre (4) classes selon les normes de l'OMS

Classe Elément (mg/l)	1	2	3	4
Mg^{2+}	< 50	50 – 60	60 – 70	> 70
Na^+	< 150	150 – 180	180 – 210	> 210
K^+	< 12	12 – 14,4	14,5 – 16,9	> 16,9
Cl^-	< 200	200 – 240	240 – 280	> 280
SO_4^{2-}	< 250	250 – 300	300 – 350	> 350
NO_3^-	< 50	50 – 60	60 – 70	> 70
R.S	< 1500	1500 – 1800	1800 – 2100	> 2100

Tableau n° 21 : Classification des concentrations des éléments chimiques par classes (D'après l'OMS).

Les concentrations des éléments chimiques analysées (la moyenne des valeurs pour les hautes et basses eaux) des sources d'eaux situées dans le massif dunaire de Bouteldja sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Élément Point d'eau	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	R.S
Bou Glès	5.46	19.62	<10	31.29	22.5	5.65	215
Titri	4.71	21.68	<10	41.49	13.25	4.91	194
Bourdim	3.66	18.51	<10	34.69	12	5.25	200.5
Greate	12.36	26.66	<10	67.85	17.25	5.8	267.5
Ain Saboun	3.88	19.31	<10	27.87	18.4	3.95	182
Sebaa	3.01	18.46	<10	28.72	16.35	2.62	196
Rmel Terch	109.3	985.6	>20	1688.0	24.14	1.1	2275
Espagnole	85.12	1017	>20	1621	48	1.28	1410
Kesba	21.41	61.29	<10	124.3	22.45	6.07	479
Rmel Aib	5.27	47.48	<10	88.81	22.55	1.75	362
o.B'haim	5.08	21.29	<10	39.31	16.9	2.21	218.5

Tableau n° 22 : Concentrations des éléments chimiques des sources eaux dans le massif dunaire de Bouteldja (2006/10).

b. Calcul des indices d'altération (I.A) :

Afin de calculer l'indice d'altération des points d'eau dans la nappe dunaire de Bouteldja, on attribue pour chaque élément chimique, et selon sa concentration, un chiffre correspondant à chacune des quatre (4) classes déduites précédemment.

Par exemple, on attribue à l'élément chimique le chiffre « 1 » lorsque sa concentration se localise dans la classe « 1 ». La somme des chiffres des points d'eau correspondants aux classes nous donnent l'indice d'altération (Derradji, 2004).

Le tableau ci – après représente les indices d'altération des points d'eau et leurs classes d'altérations :

Elément point	I.A	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	R.S
Bou Glès	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
Titri	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
Bourdim	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
Greate	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
Ain Saboun	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
Sebaa	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
Rmel Terch	22	C4	C4	C4	C4	C1	C1	C4
Espagnole	19	C4	C4	C4	C4	C1	C1	C1
Kesba	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
Rmel Aib	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
o.B'haim	7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1

Tableau n° 23 : Calcul de l'indice d'altération et la classification des points d'eau par classes d'altération.

Les indices d'altération obtenus pour chaque source d'eau et qui sont déduits dans le tableau n°17 sont ainsi représentés graphiquement (fig.27) :

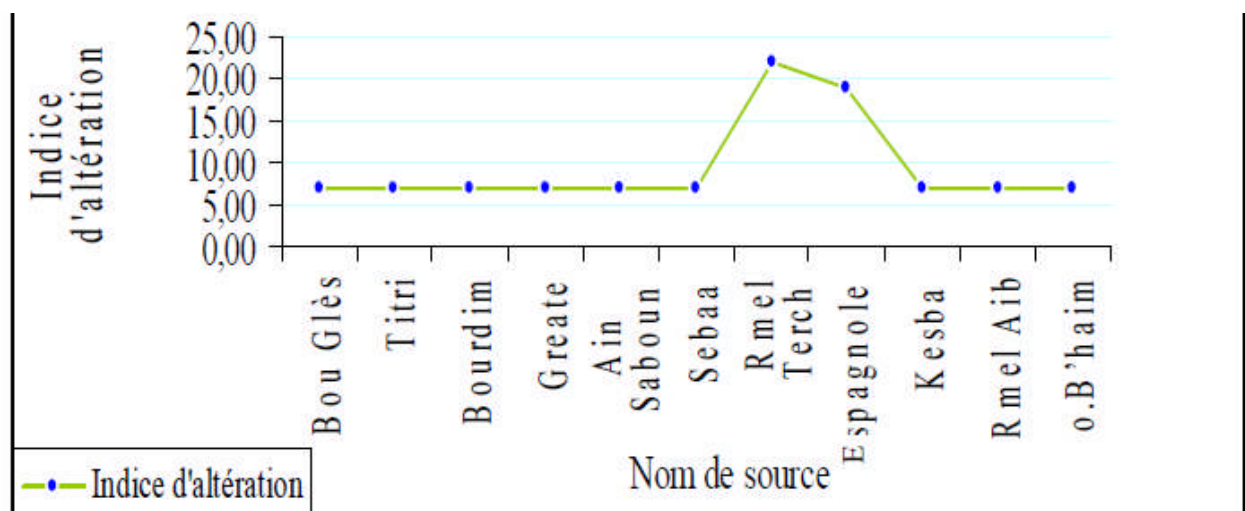


Fig.27 Représentation graphique des indices d'altération des sources d'eau dans le massif dunaire de Bouteldja

D'après le tableau et la figure montrés ci – avant, on remarque que la source de Rmel Terch est la plus polluée représentant un indice d'altération très fort « 22 », suivie de l'Espagnole « 19 », donc ces deux sources sont les plus altérées.

Tandis que la plupart des sources d'eau situées dans le massif dunaire de Bouteldja représentent un indice d'altération faible « 7 » donc les eaux sont peu altérées.

2.2.2. Etablissement de la carte d'altération des eaux des sources:

La carte d'altération des eaux des sources situées dans le massif dunaire de Bouteldja (fig.28) est établie à partir des valeurs des indices d'altérations des différents points d'eau et qui nous renseigne sur la qualité des eaux en vue de leur éventuelle exploitation pour les différents usages (A.E.P, A.E.I, A.E.A).

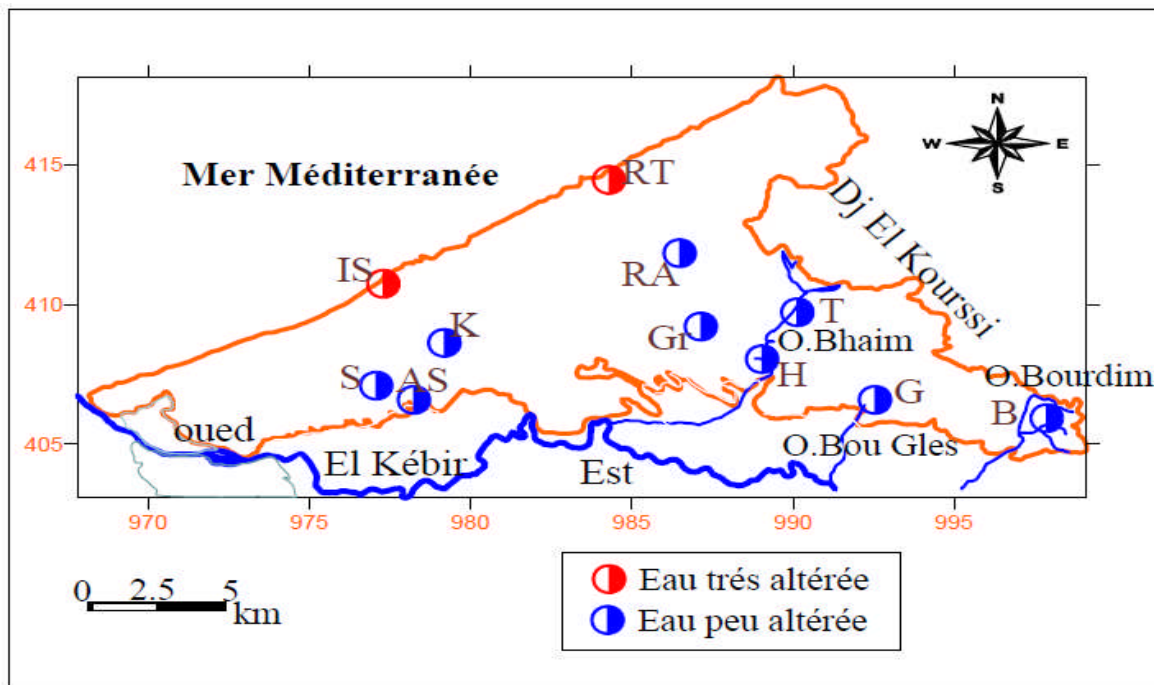


Fig.28 : Etablissement de la carte d'altération des eaux des sources dans le massif dunaire de Bouteldja.

L'établissement de la carte d'altération des eaux des sources a permis de connaître la qualité des eaux grâce au calcul de l'indice d'altération des eaux. Ainsi que les eaux des Rmel Terch et l'Espagnole sont les plus altérées.

2.2.3. Périmètres de protection des eaux naturelles :

Les périmètres de protection d'un captage sont définis après une étude hydrogéologique et prescrits par une déclaration d'utilité publique. Ils visent à protéger les abords immédiats de

l'ouvrage et son voisinage, ainsi qu'à interdire ou réglementer les activités qui pourraient nuire à la qualité des eaux captées.

Ils prennent la forme de trois zones dans lesquelles des contraintes plus ou moins fortes sont instituées pour éviter la dégradation de la ressource.

2.2.4. Types de périmètres de protection:

2.2.4.1. Le périmètre de protection immédiate :

Il vise à éliminer tout risque de contamination directe de l'eau captée et correspond à la parcelle où est implanté l'ouvrage. Il est acquis par le propriétaire du captage et doit être clôturé, Toute activité y est interdite.

2.2.4.2. Le périmètre de protection rapprochée :

Il a pour but de protéger le captage vis-à-vis des migrations souterraines de substances polluantes. Sa surface est déterminée par les caractéristiques de l'aquifère, Les activités pouvant nuire à la qualité des eaux sont interdites.

2.2.4.3. Le périmètre de protection éloignée :

Ce dernier périmètre n'a pas de caractère obligatoire. Sa superficie est très variable et correspond à la zone d'alimentation du point d'eau. Les activités peuvent être réglementées compte tenu de la nature des terrains et de l'éloignement du point de prélèvement

2.3. Vulnérabilité des eaux:

La vulnérabilité caractérise l'aptitude d'une ressource en eau à être atteinte par une pollution. Elle est fonction des facteurs du milieu qui déterminent les grands types de circulation d'eau et de l'occupation du sol (Hafed, 1999).

Ainsi, la vulnérabilité se définit comme la sensibilité d'un territoire à un aléa. Cette sensibilité se décline en termes de dommages aux personnes et aux biens, et de perturbation de l'activité socio-économique.

L'étude de vulnérabilité aux pollutions constitue une base d'information essentielle pour la gestion des ressources en eau et par conséquent la mise en place de mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles (périmètre de protection).

2.3.1. Méthode de vulnérabilité des eaux:

La vulnérabilité des eaux souterraines doit être comprise comme un défaut de protection ou de défense naturelle des aquifères contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales.

L'idée de la limitation des périmètres de protection due à la facilité et la rapidité suivant lesquelles des matières polluantes d'origine superficielle peuvent atteindre l'eau souterraine et

dégrader ses qualités, en fonction des défauts de défense " passive " (caractères structuraux), voire " active " (processus hydrodynamiques, hydrochimiques ou biochimiques en zone non saturée).

Parmi les méthodes de vulnérabilité choisies pour le calcul des limites des périmètres de protection des ouvrages d'eau on a celle de W. REHESE. 1977, cette méthode prend en considération la lithologie du milieu et l'écoulement de l'eau en fonction de la topographie.

.2.3.2.Calcul de la limite du périmètre de protection:

La détermination du périmètre de protection dans des forages d'eau répartis dans le massif dunaire de Bouteldja selon la méthode de W.REHESE se fait comme suite :

1. le calcul de l'épaisseur de la zone non saturée (H) par la différence entre la valeur topographique (Z) et la valeur piézométrique (Hp) par la relation : **H = Z – Hp**.

2. le calcul du pouvoir épurateur du sol dans la couverture de la zone non saturée (Md) par la relation : **Md = H.i**

Avec : H : épaisseur de la zone non saturée en mètre;

i : indice correspondant à la formation non saturée.

D'après REHESE, la valeur de i change Selon les matériaux constituant la zone non saturée (voir tableau annexe).

Si $Md > 1$: la couche est naturellement protégée (pas besoin du périmètre de protection) ;

Si $Md < 1$: la couche n'est pas protégée (périmètre de protection est certain).

3. le calcul du pouvoir épurateur du sol dans l'aquifère de la zone saturée (Mr) par la relation : **Mr = 1 – Md**

Avec : Md : pouvoir épurateur du sol dans la couverture de la zone non saturée en mètre.

4. le calcul de la limite (L) de la zone de protection par la relation suivante :

$$L = \frac{1 - Md}{I_a} = \frac{Mr}{I_a}$$

Avec : L : la limite du périmètre de protection ;

Md : pouvoir épurateur du sol dans la couverture de la zone non saturée en mètre ;

Mr : pouvoir épurateur du sol dans l'aquifère de la zone saturée en mètre ;

Ia : index correspond au milieu aquifère dépend de la vitesse (V) d'écoulement :

$$V = Q / S = K.i$$

Avec : V : la vitesse d'écoulement en m/s ;

Q : le débit en m³/s ;

S : la section en m² ;

K : la perméabilité calculée par la relation T/E mouillée en m/s ;

i : gradient hydraulique.

L'index La est déduit à partir des valeurs de la vitesse d'écoulement V calculées (en m/jours) correspondantes à chaque types de matériaux de l'aquifère considéré d'après W.REHESE (voir tableau annexe). Donc les valeurs de L calculées sont représentées dans le tableau (voir annexe).

.2.3.3.Etablissement de la carte des périmètres de protection :

La vulnérabilité des eaux souterraines doit être comprise comme un défaut de protection ou de défense naturelle des aquifères contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales, donc l'idée d'établir une carte des périmètres de protection est de garder la qualité des eaux souterraines propre sans aucune contrainte externe.

La protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que leur granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible.

En revanche, ce type de nappe une fois contaminée par un polluant le reste longtemps. La figure ci – après montre la répartition des forages dans le massif dunaire de Bouteldja et la limite des périmètres de protection qui correspond à chaque ouvrage (Albinet et Margat, 1970).

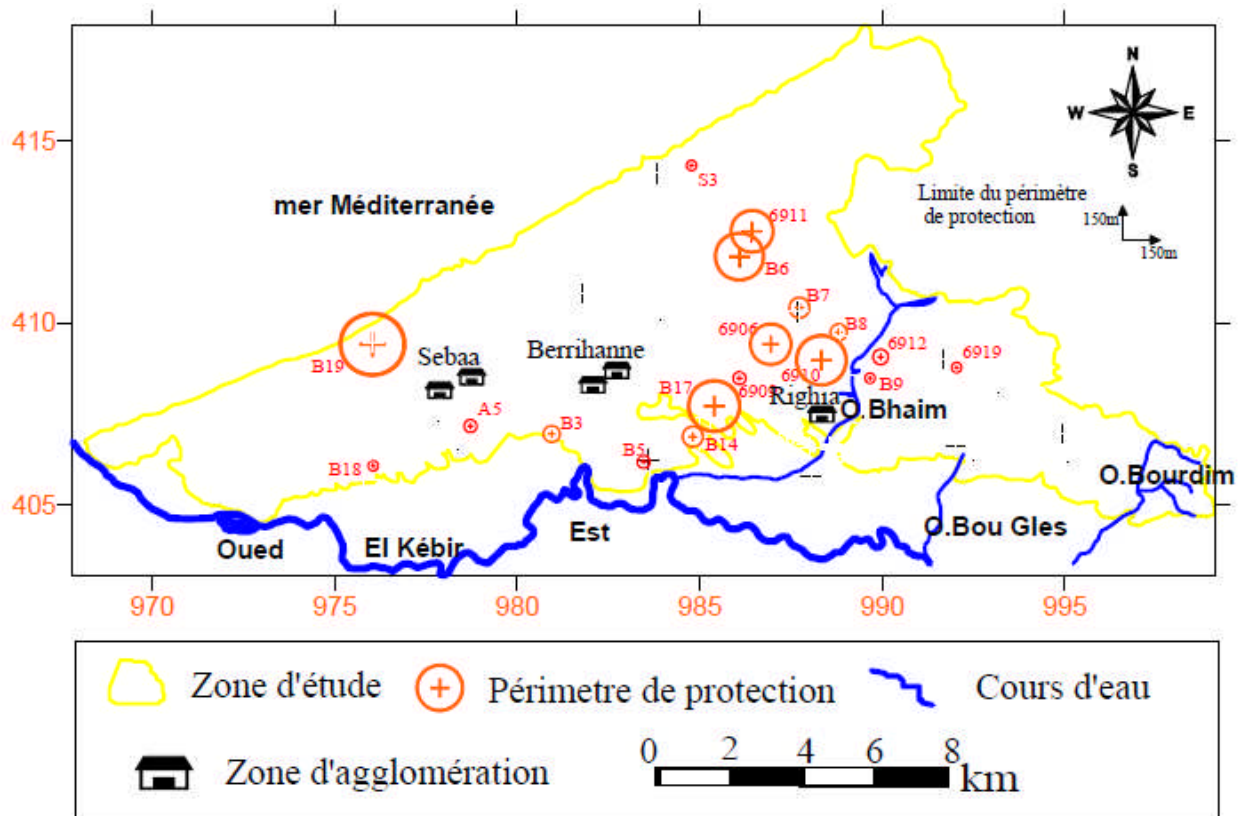


Fig.29 : Etablissement de la carte des périmètres de protection des forages dans le massif dunaire de Bouteldja.

2.4. L'effet de l'homme sur la qualité des eaux:

Les nappes d'eau souterraines plus ou moins abondantes, et plus ou moins renouvelables, sont donc fondamentales à l'activité et même à la vie humaine. Le suivi de leur qualité est donc particulièrement important.

Une nappe souterraine est d'autant plus vulnérable aux pollutions qu'elle est mal défendue et que sa résilience est faible (Rouabhia et Kherici 2001) .

De très nombreux facteurs, d'origine naturelle ou humaine, ont un impact sur la qualité des eaux de surface. L'agriculture, le secteur dominant dans la région, exerce un effet sur la qualité des eaux naturelles dans le massif dunaire de Bouteldja.

Les activités agricoles sont plus pratiquées dans les régions à forte habitation et qui se concentrent surtout dans les régions ; Righia, Berrihan et Sebaa.

Les principales pressions qu'exerce l'agriculture sur la qualité de l'eau proviennent des matières fertilisantes (engrais de ferme : fumiers, lisiers, engrais minéraux), des pesticides, des pratiques culturales et des aménagements hydroagricoles.

Conclusion

Les ressources en eau exploitées dans la nappe dunaire de Bouteldja sont menacées par la pollution engendrée par le développement urbain et agricole, notamment, les eaux usées des agglomérations avoisinantes qui ne disposent pas de système d'assainissement, des ordures ménagères, des carrières utilisées comme dépotoir des rejets divers, du réseau routier et des activités agricoles.

A cet effet, il fallait prendre toutes les mesures susceptibles de garantir la qualité des eaux de ces ressources et la sécurité de l'approvisionnement en eau potable. Ce qui nous a conduit à établir la mise en place d'un périmètre de protection de protection du champ captant de la nappe de notre région.

Introduction

L'eau est une substance remarquable. Bien qu'elle soit un composé simple. Elle est à la fois la source et le moteur de la vie. Sans eau, l'humanité toute entière et toutes les formes de vie sur terre périraient. Dans la région d'étude, l'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que les besoins en eau potable ont amené les pouvoirs publics à mobiliser le maximum possible des ressources en eau que se soit :

Ressources souterraines : les eaux souterraines sont pratiquement mobilisées, et capté par des forages et des puits, certaines nappes sont mêmes en surexploitation

Ressources superficielles : les eaux superficielles sont mobilisées par le biais des barrages et retenus collinaire

I- RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Pour le calcul des réserves en eau dans les différents nappes souterraines, on se base sur la formule de Reserve renouvelables définie par CASTANY 1982

$$\boxed{dw = dH_{moy} \cdot A \cdot me} \quad \text{pour nappe libre}$$

Avec : **dw** : réserve renouvelable de la nappe m³

H_{moy} : rabattement moyen de la nappe (m) entre les hautes eaux et les basses eaux

A : superficie de la nappe (km²)

me : coefficient de la porosité efficace de la nappe superficielle (%)

$$\boxed{dw = H_{moy} / 2 \cdot A \cdot S} \quad \text{pour nappes captive}$$

Avec : **H_{moy}** : épaisseur moyenne de la nappe (m)

Les hydrogéologues estiment qu'une nappe captive peut être exploitée jusqu'à h/2 de ses capacités

A : superficie de la nappe (km²), généralement égale à celle de la surface de la nappe superficielle qui lui superposée.

S : coefficient d'emménagement (calculé à partir de l'interprétation des pompages d'essais)

L'estimation du potentiel hydrique en eaux souterraines de la région d'étude d'après Pr.KHERICI-BOUSNOUBRA. H 2002 et Pr .DERRADJI 2004, montre que : la région d'ANNABA-EL TARF globalise un volume total en eaux souterraines de l'ordre de $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, dont la nappe alluvionnaire fournit à elle seule $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ et qui se compose des alluvions récentes et actuelles, terrasse, gneiss altérés, cordon dunaire, gravier, cipolins

L'ensemble du système Annaba-EL TARF offre une réserve renouvelable de l'ordre de 135 Mm³

Zones	Système Aquifère	Superficie Km ²	Hmoy (m)	S ou me	Réserve régulatrices Mm ³ /an	
ANNABA	Alluvions récentes et actuelles	320	10	0.13	40	
	Terrasses	Faible Potentialités Hydrique				
	Gneiss altérés	67	1.2	0.02	1.5	
	Cordon dunaire	10	3	0.10	3	
	Graviers	300	20	0.002	13	
	Cipolin	80	5	0.005	2	
Total	Système Aquifère ANNABA				60	
EL-TARF	Plaine de Bouteldja	N.L	110	1	0.08	8
		N.C	110	42	0.0017	8
	Plaine d'EL TARF	N.L	100	2	0.0075	15
		N.C				0.5
	Plaine d'oum Teboul	N.L				9
		N.C				0.52
	Massif dunaire	N.L				34
Total	Système EL-TARF				75	
Totaux	Système Aquifère ANNABA-EL TARF				135	

Tableau .24. Les réserves Renouvelables dans l'extrême Nord-Est Algérien (Annaba-EL Tarf)

Légende :

Hmoy : hauteur moyenne

S : coefficient d'emmagasinement pour les nappes captives

me : porosité efficace pour les nappes libre.

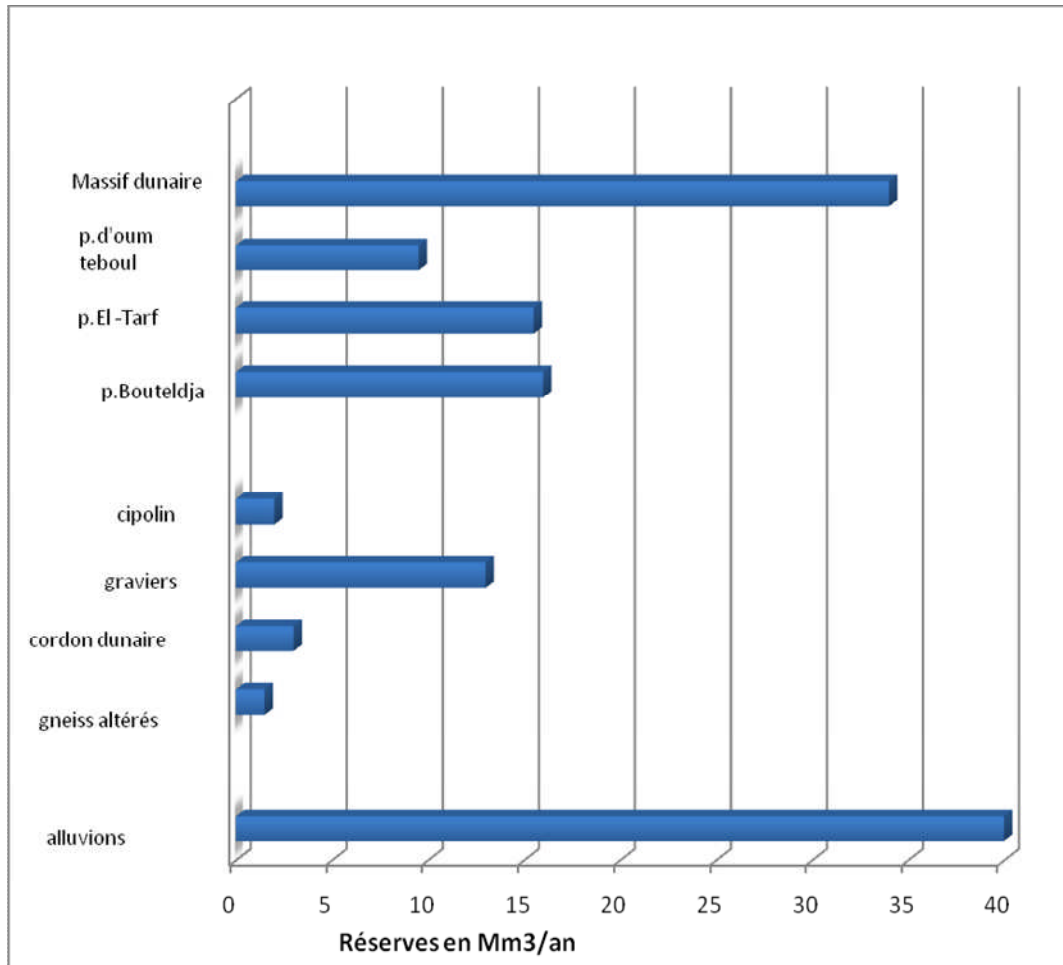


Fig30 .Réserves Renouvelable de l'ensemble du système aquifère Annaba-EL Tarf

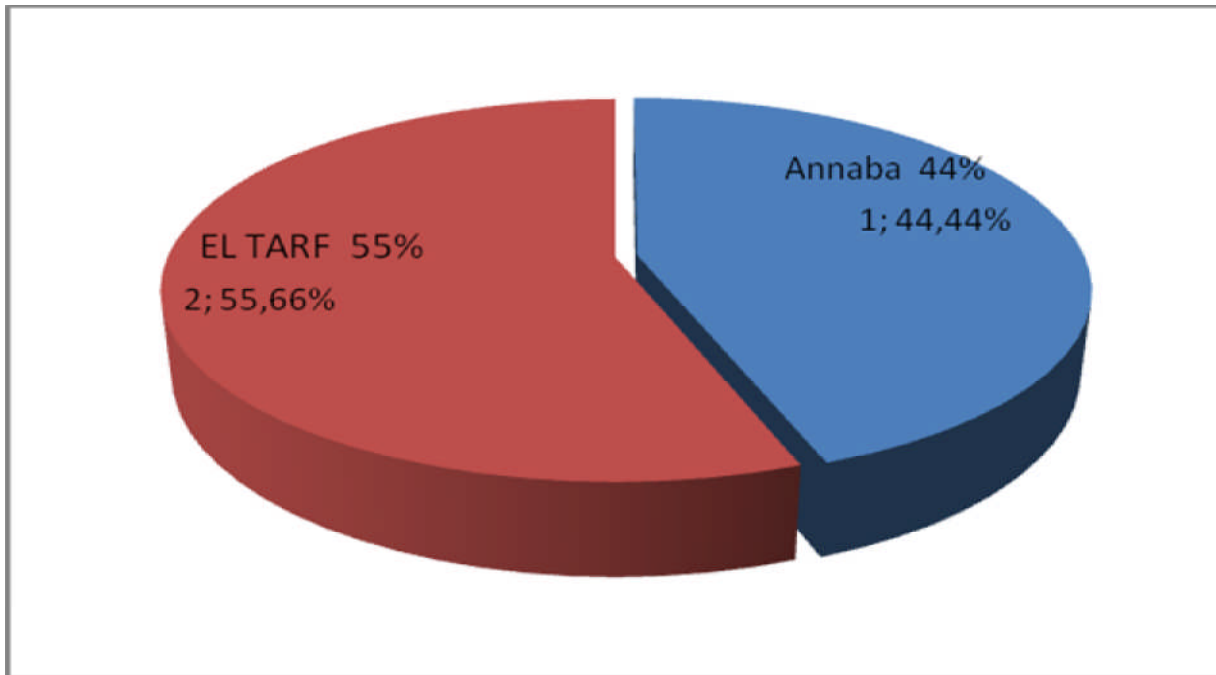


Fig. 31. Distribution des réserves Régulatrices par Système Aquifère

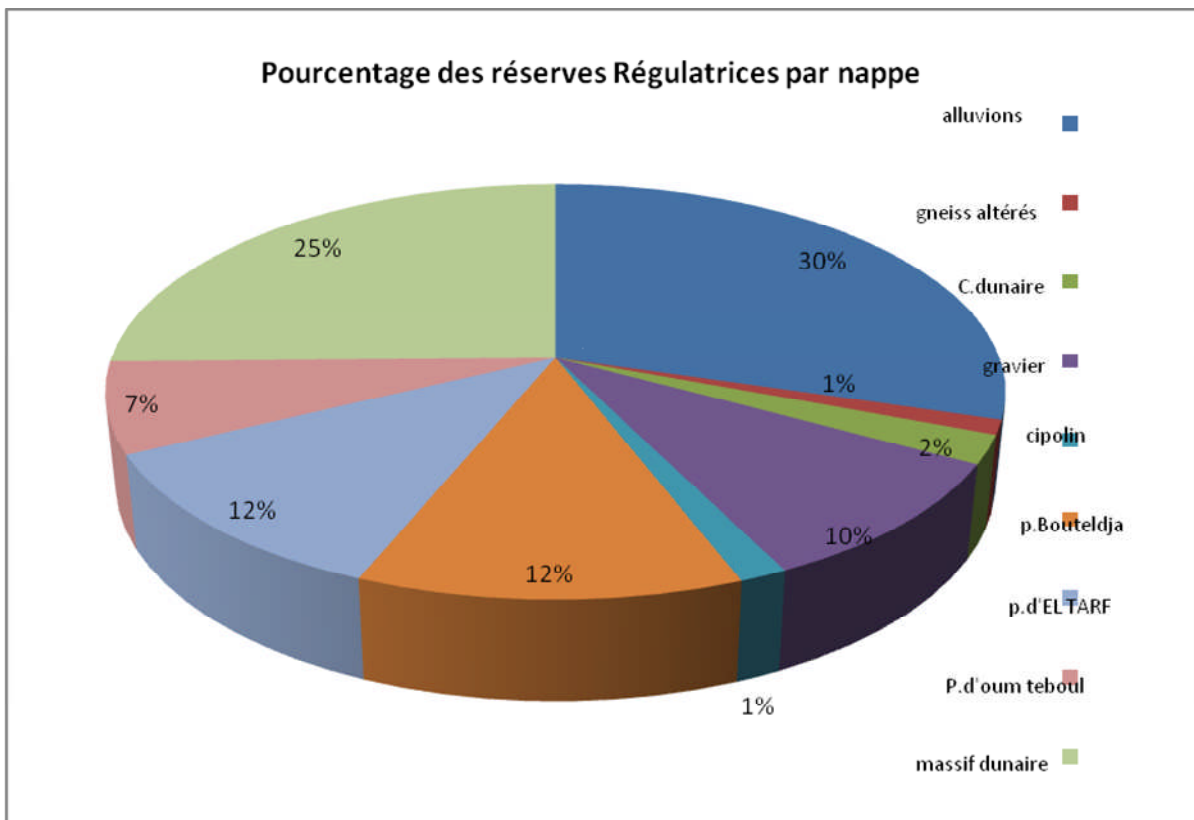


Fig. 32. Répartition des volumes d'eau prélevée par type de formation aquifère

II-RESSOURCES EN EAU DE SURFACE

Les ressources en eaux superficielles de la région d'étude (Annaba et EL- Tarf) sont constituées par un réseau hydrographique bien développé

Les huit sous bassins versant représentant la région sont drainés par trois principaux cours d'eau, la Seybouse, la Mafragh et le Kébir Ouest qui sont alimentés par un grand nombre d'affluents.

Le bassin d'EL Kébir ouest s'étend à l'intérieur du territoire de la wilaya d'ANNABA sur 530 km² soit près de 30% de l'ensemble de la superficie du bassin, celui-ci est aussi organisé autour d'un réseau hydrographique régional, à savoir l'oued EL Kébir ouest affluent principal des oueds Ennkoucheet El Aneb

Les apports ont été estimés à 37 hm³/an (Plan d'aménagement de la wilaya d'Annaba).

L'oued Mafrag est la confluence de deux grands oueds, le Kébir Est avec un apport annuel de l'ordre de 295 Mm³ (Ghachi 1982, Khérici.N 1993, Bousanboura H2002) et Bounamoussa avec apport annuel de 127 Mm³

Les oueds Guergour, Bouhalloufa et Boulathan et Zitouna affluents de l'oued EL Kébir Est transitent respectivement un apport de 8Mm³, 49Mm³, 15Mm³ et 52Mm³ (BousnoubraH2002)

L'oued Seybouse, provenant du sud ouest de la région avec apport annuel partiel de 122Mm³ (Khérici 1993, Djabri1996, Bousnoubra 2002)

OUEDS	Apports Annuels moyennes Mm ³
Kébir Est	295
Bounamoussa	127
Zitouna	52
Bouhalloufa	49
Seybousse	122
Boulathane	15
Guergour	30
Kébir Ouest (Annaba)	37
TOTAL	710 Mm ³ /an

Tableau 25: Apport annuel des oueds dans la wilaya ANNABA-EL TARF

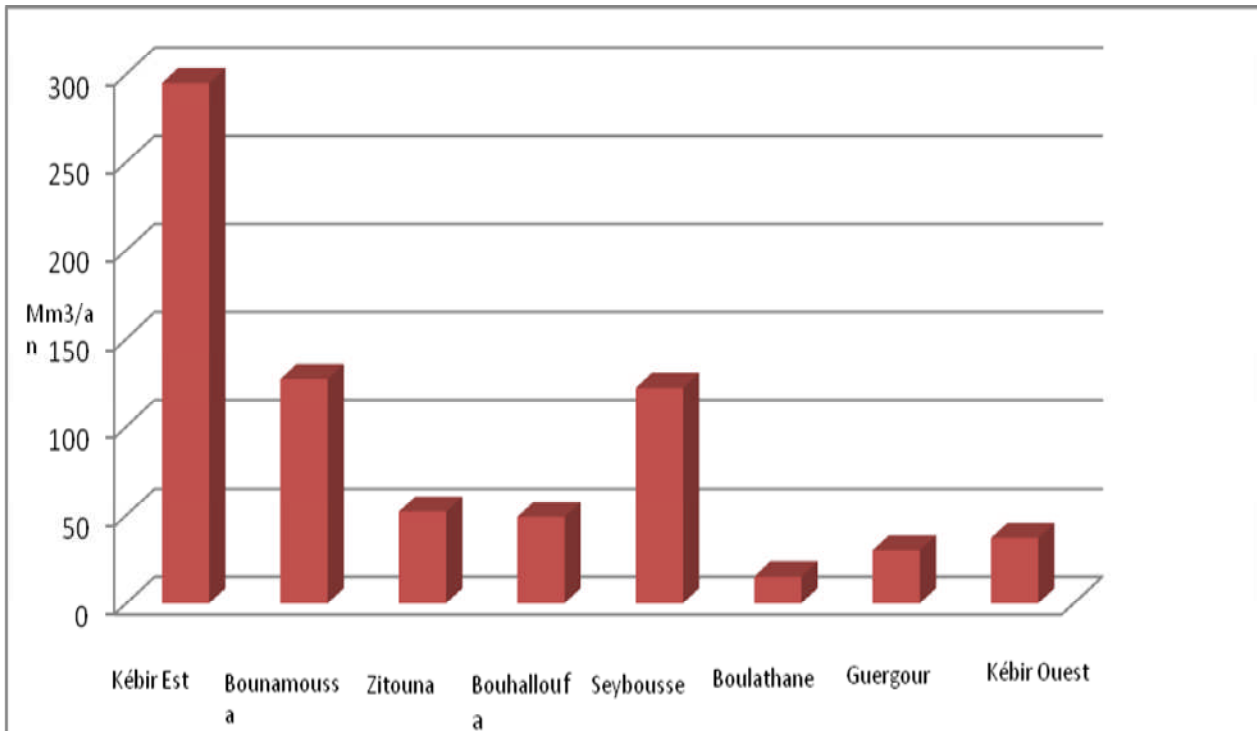


Fig.33. Apports Annuels des Oueds des Nord-Est Algérien

Ressources en eau souterraine	135 Mm3 /an
Ressources en eaux de surface	701 Mm3 /an
Total	836 Mm3 /an

Tableau .26 : Ressources Hydrique Totales dans l'extrême Nord-Est Algérien

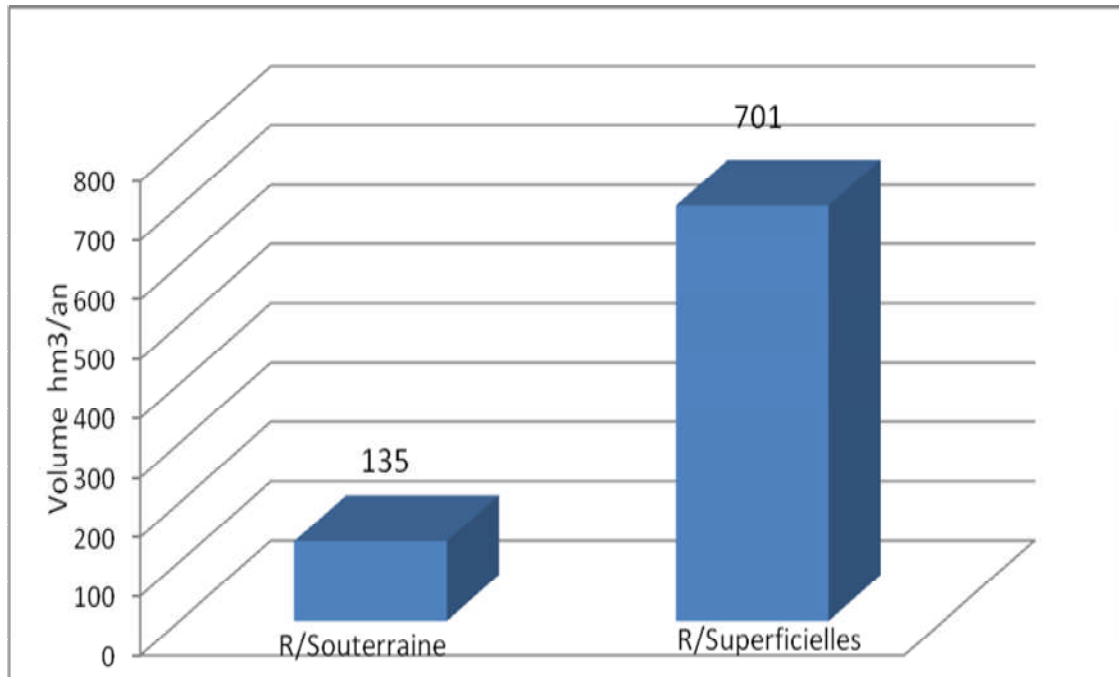


Fig. 34; Ressources hydrique totales dans l'extrême Nord-Algérien

III-EVALUATION HYDROGEOLOGIQUE DES RESSOURCES HYDRIQUE

1-Région EL-TARF

Le massif dunaire de Bouteldja est localisé dans la partie Nord Est de l'Algérie, appartient au système aquifère Annaba – Bouteldja inclus dans l'hydro système du bassin versant de la Mafragh. Il est limité au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par le massif de Cap Rosa, au Sud par la plaine des graviers de Bouteldja et à l'Ouest par oued Mafragh. Le tapis végétal est à vocation forestière de maquis et de chênes liège limitant les phénomènes d'érosion.

La géologie du massif dunaire de Bouteldja est caractérisée par des dunes constituées de sables éoliens mio – plio - Quaternaire dominant la partie avale Nord – Est et Nord – Ouest.

Les grès numidiens sont répartis dans les montagnes qui entourent notre zone d'étude.

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen qui est tempéré, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse et humide et l'autre sèche et chaude.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 681.47 mm au Salines et 631.95 mm à Ben M'hidi et de températures annuelles moyennes de l'ordre de 17.85°C (Salines) et 17.59 °C (Ben M'hidi). Leur ajustement à la loi de Gauss a permis de déduire un écart type de 165,35 pour la St des Salines et 164,32 pour Ben M'hidi. L'estimation de la période de retour a permis de

déterminer une année de pluie minimale avec 15 et 29 ans et maximale tout les 33 et 20 ans respectivement pour les Salines et Ben M'hidi. Hydrogéologiquement, le massif dunaire de Bouteldja se subdivise en sous bassins versants, bassin de Bourdim, de Bou Glès et oued El B'haim. Il est d'une orientation NW – SE conforme aux vents dominants, essentiellement constitué de sables éoliens qui forment une nappe libre, avec des épaisseurs comprises entre 20 et 120 m et l'existence d'intercalations des lentilles argileuses.

L'écoulement des eaux souterraines est marqué par deux directions bien distinctes, l'une se dirige du centre du massif dunaire vers la mer au Nord et l'autre qui se dirige vers le Sud et alimentant les marécages, les oueds et la nappe des graviers.

Les mécanismes de l'écoulement des eaux naturelles sont : au Nord où la mer méditerranéenne représente un exutoire à la nappe, à l'Est d'où les formations des grés numidiens, au Sud suivant une ligne parallèle à l'oued El Kébir Est et en reliant Djebel Bourdim à la Mafragh et à l'Ouest avec un substratum qui semble profond qu'à l'Est, sur lequel repose la formation de l'aquifère libre. D'après la courbe de tarissement des sources d'eau captant de la nappe dunaire de Bouteldja, le volume d'eau emmagasiné (W) calculé à partir du coefficient de tarissement (α) est de 15,1.105m³, 36,6.105m³ et 116.105m³ respectivement pour les sources de Bou Glès, Bourdim et Titri).

Les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère dunaire de Bouteldja sont caractérisés par la perméabilité qui varie entre 10⁻⁴ et 10⁻⁶ m/s, la Transmissivité est au moyenne de 5.10⁻³ m²/s et le coefficient d'emmagasinement varie de 1,4% à 24% avec une valeur moyenne de 18%.

Les eaux souterraines de la nappe dunaire de Bouteldja sont dominées par un faciès chimique chloruré – sodique. Physiquement, les eaux sont dans l'ensemble acides, douces peu minéralisées. Chimiquement, la majorité des échantillons présentent des teneurs en éléments majeurs inférieures à la norme de l'OMS, sauf le cas des sources où certains éléments dépassent les normes tel que les chlorures et le sodium dues essentiellement au contact avec l'eau de mer: échange au niveau du biseau salé, contamination de l'eau d'infiltration par les embruns salés. L'eau de la nappe devient plus ou moins saumâtre.

L'invasion de la nappe d'eau douce par l'eau salée est accélérée par les pompages et le rabattement de la nappe aux intrusions marines. On remarque la présence de formation géologique (grés numidien, argile numidien et sable) qui ont une influence directe sur la composition chimique de l'eau. Les eaux en contact avec les roches argileuses sont chargées en sels, avec très souvent des résidus secs de plusieurs grammes, tantôt le SO₄ l'emporte sur le Cl tantôt c'est l'inverse. Donc les hautes valeurs de SO₄ amènent de hautes valeurs de Cl et de hautes valeurs de Na.

Les échanges de bases sont très fréquents en contact des roches argileuses, les argiles sodiques échangent les ions Na contre des ions Ca et Mg de l'eau alors que les argiles calciques échangent de leurs ions Ca contre Na et Mg.

Les teneurs acceptables des nitrates dans les eaux sont témoins d'une contamination du milieu due en majeure partie à l'activité agricole (engrais, pesticides, ...) et aux rejets domestiques près des agglomérations rurales intenses.

Les eaux souterraines de la nappe dunaire de Bouteldja sont en majorité d'excellente qualité (RS entre 20 et 300 mg/l). L'établissement de la carte d'altération des eaux des sources montre que l'ensemble des sources d'eau représente un indice d'altération faible donc l'eau est peu altérée sauf pour les sources de Rmel Terch et l'Espagnole où l'indice d'altération est très fort donc l'eau est très altérée. La détermination des zones de vulnérabilité, basés sur le calcul du pouvoir épurateur du sol sur le trajet vertical et la hauteur de la zone non saturée (selon W.REHESE) nous a permis d'établir des périmètres de protection des ouvrages avec des limites faibles entre 10 et 50 m et donc une vulnérabilité faible localisée dans la partie occidentale de la zone d'étude, des limites fortes supérieures à 70 m donc très vulnérable surtout dans les zones d'agglomération intense et les zones marécageuses.

Dans la partie Sud – Est de notre zone d'étude les ouvrages n'ont pas besoin d'un périmètre de protection tel que le secteur de Bou Glès et de Bourdim où les potentialités de la nappe sont fortes.

La vulnérabilité des captages et leur protection n'ont pas fait l'objet d'études ou de mesures suffisantes et bon nombre de nappes sont exploitées alors qu'elles sont encore très exposées à des risques de pollution de surface dans leurs périmètres de protection rapprochées ou éloignées (en zone rurales ou semi rurales et même aux abords de grandes agglomérations).

Les activités agricoles sont plus pratiquées et très intenses, et la forte utilisation des produits chimiques azotés dans le massif dunaire de Bouteldja peu à peu, devient de plus en plus forte dans les prochaines décennies avec la forte croissance des populations et l'inexistence d'un système de l'évacuation des rejets domestiques qui se fait directement dans le sol est qui pose un grand problème à la qualité des eaux naturelles et par conséquent les zones contaminées seront découvertes et d'autres ressources en eaux seront contaminées et se déversent dans les terres humides.

2-REGION D'ANNABA

- L'étude géométrique confirme l'extension et la superposition des nappes superficielle et profonde qui sont séparées par un niveau semi-permeable. Celui ci disparaît au sud de la plaine laissant se confondre les deux nappes.

- Cette région compte parmi les régions les plus arrosées de l'Algérie. Elle est soumise à un Climat méditerranéen, doux et humide en hiver et chaud et sec en été, ce qui produit des modifications périodiques de la chimie des eaux par effet de dilution pendant les périodes pluvieuses et par l'effet de l'évaporation pendant les périodes sèches. Le bilan hydrologique de la région montre une évapotranspiration qui représente 69% des précipitations, un ruissellement de 15% et une infiltration de 16% des pluies.

Les eaux de surface présentent des débits d'écoulement très variables, dépendant de la hauteur des précipitations, de sa durée et de sa répartition spatiale au niveau du bassin versant.

Une synthèse des résultats issus de l'interprétation des données d'une centaine de pompage d'essais montre l'existence d'hétérogénéités assez importantes dues en général aux transferts de débit issus des oueds, de la drainance d'aquifères annexes et de l'égouttement des niveaux aquifères superficiels. L'analyse des transmissivités obtenues révèle une grande dispersion des valeurs. Les plus fortes valeurs de transmissivité coïncident avec les axes des deux bassins d'effondrement. Par contre, dans le secteur central, correspondant au haut fond qui sépare les deux fosses, les Transmissivités et la productivité des ouvrages sont relativement les plus faibles.

L'étude hydrochimique a été effectuée à l'aide de l'analyse statistique (analyses en composantes principales) et de la méthode des rapports caractéristiques des données obtenues sur les réseaux de mesure de la qualité de l'eau pendant la période allant de 1982 à 2008. Les principaux facteurs responsables de l'évolution de la qualité chimique de l'eau observée au niveau de la plaine d'Annaba sont la minéralisation, et la pollution par les eaux marines. La teneur totale en sels minéraux des eaux de l'aquifère est due à deux causes :

Naturelle et anthropique. Les processus naturels sont dus à l'évaporation et à la concentration par dissolution ; en ce qui concerne les processus anthropiques : l'invasion marine induite par l'exploitation de la nappe et l'irrigation observé par l'existence d'une pollution des eaux de l'aquifère par les nitrates qui se manifeste essentiellement sur les bordures sud et ouest où la nappe est peu profonde et la couverture argileuse protectrice est presque absente.

Afin de faire l'état de la ressource d'un point de vue quantitatif et d'évaluer les risques liés à l'exploitation intensive des ressources en eau souterraine, notamment pour le transfert des

chlorures à l'intérieur des aquifères, et les nappes des graviers à permis de vérifier les hypothèses émises sur l'hétérogénéité du système étudié.

Conclusion

Les ressources en eau sont abondantes dans la région de l'extrême Nord-Est algérien et sont surtout constituées par les écoulements des oueds Kébir Est, Bounamoussa et Seybouse et leurs affluents ;

En effet, ces ressources sont peu utilisées puisque sur un volume de 546 Hm³/an, seule une quantité assez limitée est emmagasinée par les barrages de Cheffia (Bounamoussa) et Maxa (Kébir Est) et quelques retenues collinaires, le reste du volume s'écoule vers la mer.

la réalisation des barrages de Bouhalloufa et de Boulathan pourront emmagasiner une bonne partie de cette eau.

la région constitue l'une des plaines d'Algérie où les ressources en eau souterraine sont exploitées. L'accroissement des terres cultivées, le développement des agglomérations limitrophes et des unités industrielles ont nécessité l'intensification des pompages dans les forages ce qui a conduit à la surexploitation des nappes et la dégradation de la quantité de l'eau.

En résumé, le potentiel hydrique actuel est de l'ordre de 100.10⁶ m³/an, hormis la capacité du barrage de Bouhamdane qui est destiné principalement à l'alimentation de la Wilaya de Guelma

En conclusion, les potentialités en cas de l'hypothèse où tous les forages installés fonctionnent et tous les puits dénitrent à la longueur de l'année sont comme suit :

Potentiel d'eaux souterraines extrait = 70 .10⁶ m³/an

Potentiel d'eau superficiel disponible = 100 .10⁶ m³/an

Le total des eaux (superficielles+souterraines)=170 .10⁶ m³/an

Et dans l'hypothèse qui reflète en fait la réalité, soit les majeures parties des puits sont à sec et une partie non négligeable des forages est hors service, ce qui diminue d'une façon importante la capacité d'eau disponible réellement.

RECOMMANDATIONS

Établir un service hydrogéologique et hydraulique taillé sur mesure pour l'état des ressources en eau et les questions principales des ressources en eau.

Établir une base des connaissances pour les ressources en eau sur la base du suivi et des évaluations des ressources en eau, complétée par la modélisation au besoin et rendre les résultats appropriés disponibles dans le cadre de la sensibilisation publique.

Établir un mécanisme d'allocation de l'eau, un système d'extraction des eaux de surface, des eaux souterraines et de décharge des eaux usées et bases de données associées.

Établir des capacités politiques et de planification et développer les compétences dans l'évaluation des risques, l'évaluation environnementale, sociale et économique.

Établir des compétences dans la gestion de la demande et l'utilisation des prix et de la valeur pour une efficacité dans l'utilisation et l'équité dans l'accès.

Établir le développement des ressources humaines et le renforcement des capacités taillés sur mesure pour les questions institutionnelles et les ressources en eau.

CONCLUSION GENERALE

La maîtrise de la gestion des ressources en eau relève de la bonne connaissance des équilibres hydraulique, hydrochimique et biologique, c'est dans le contexte que s'inscrit la présente étude. la synthés des données acquises sur terrains lors de l'élaboration de ce travail ,a permis de redéfinir les problèmes relatifs à l'eau dans la région de l'extrême Nord-Algérien pour mieux les analyser et enfin tenter de les résoudre

La région la région d'étude comprends deux wilaya situées au Nord Est Algérien (Annaba et EL Tarf), elle caractérisé par une agriculture intensive, un développement industrielles importante et une population accroit rapidement.

la région étudié est constituée essentiellement de deux formations géologique qui affleurent le long de la région d'étude ; les roches sédimentaires constituées de grés, sable, argile, graviers présentes sur l'ensemble du terrain et le Trias gypsifère qui affleure au Sud de la région, qui est à l'origine de la contamination par les sels.

L'étude géomorphologique fait ressortir la très grande diversité lithologique qui entraine obligatoirement des conséquences sur la stabilité du régime des eaux souterraines.

la région d'études est caractérisée par un climat méditerranéen, caractérisé par deux saison distinctes ; l'une humide, pluvieuse allant du début du mois d'octobre jusqu'au début de Mai, l'autre sèche, relativement courte s'étalant de la fin du mois de mai jusqu'au début d'octobre.

Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite, pour une période de 27 ans allant de 1983 à 2010, relève une précipitation annuelles moyenne de l'ordre de 681.47 mm au Salines et 631.95 mm à Ben Mhidi. En plus le bilan hydrique indique un déficit agricole de 156.13mm au Saline et 151.49 mm au BenMhidi

Dans la région d'étude ,deux importantes ressources en eaux sont distinguées ; les eaux de surface des oueds utilisées sans contrôle pour l'irrigation, et les eaux souterraines de deux horizons aquifères différents (libre superficielle et profonde captive).la première nappe qui est la plus importante est celle de massif dunaire de Bouteldja et le deuxième est la nappe profonde des graviers de Annaba ainsi que la nappe superficielle contenue dans des formations argilo-

sableuses, sa perméabilité moyenne est de 10^{-4} à 10^{-5} m/s ; son épaisseur varie de 4 à 20 m, généralement elle est exploitée pour l'utilisation agricole

Les relevés piézométriques ont montré qu'en générale l'écoulement est orienté du Sud vers le Nord. Le gradient hydraulique diminue relativement dans cette direction, nous pouvons donc déduire que les écoulements suivent topographie du terrain. L'alimentation des nappes superficielles est assurée par la participation à partir des reliefs

L'étude de la drainance a permis de connaître d'une manière générale la relation qui existe entre les deux nappes (superficielle et profonde). nous avons pu déterminer deux sorte d'échange de flux l'un de la nappe libre vers la nappes captive, et l'autre de la nappe captive vers la nappe libre. avec des débits transitant qui varient suivant le cas l'interprétation des résultats des données des pompages d'essais a permis de définir l'existence d'hétérogénéité importante dans l'aquifère .celle-ci sont dues en grande partie aux changement de facies d'un point à l'autre de la région d'étude ainsi qu'aux variations profondeur des épaisseurs captées. ces perturbations se manifestent par une grande dispersion des caractéristiques hydrodynamique. les Transmissivités varient en effet de $7 \cdot 10^{-3}$ à $1.3 \cdot 10^{-2}$ m²/s et elles sont fortement influencées par l'épaisseur aquifère capté.

L'interprétation des résultats de l'analyses chimique a permis de définir un facies chloruré-sodique dominant pour les eaux de surface et les eaux souterraines avec l'apparition de quelques facies chloruré-calcique et sulfaté-sodique

l'établissement de la carte d'altération des eaux superficielles de l'extrême Nord-Est Algérien a permis de classer les eaux de surface de la région en fonction de leur degré d'altération .En effet, les eaux des sources du massif dunaire sont de bonne qualité, par contre les eaux de l'oued Seybouse sont parmi les plus contaminés de la région.

Le diagramme de STIFF, a montré que la région d'étude, les chlorures et les sulfates dominant et sont accompagnés de sodium ou de potassium.

Les nappes d'eau souterraines plus ou moins abondantes, et plus ou moins renouvelables, sont donc fondamentales à l'activité et même à la vie humaine. Le suivi de leur qualité est donc particulièrement important

Une nappe souterraine est d'autant plus vulnérable aux pollutions qu'elle est mal défendue et que sa résilience est faible (Rouabhia et Kherici 2001).

La vulnérabilité des captages et leur protection n'ont pas fait l'objet d'études ou de mesures suffisante et bon nombre de nappes sont exploités alors qu'elles sont encore très exposées à des risques de pollution de surface dans leurs périmètres de protection rapprochées ou éloignées (en zone rurales ou semi rurales et même aux abords de grandes agglomérations).

Les activités agricoles sont plus pratiquées et très intenses, et la forte utilisation des produits chimique azotés dans le massif dunaire de Bouteldja peu à peu, devient de plus en plus fort dans les prochaines décennies avec la forte croissance des populations et l'inexistence d'un système de l'évacuation des rejets domestiques qui se fait directement dans le sol est qui pose un grand problème à la qualité des eaux naturelles et par conséquent les zones contaminées seront découvertes et d'autre ressources en eaux seront contaminées et se déversent dans les terres humides.

Les ressources en eau dans la région d'étude sont abondante, surtout les eaux superficielles, et le volume des eaux superficielles est de $701 \text{ mm}^3/\text{an}$ et le volumes des eaux souterraines est $135 \text{ mm}^3/\text{an}$.

Reconnaitre l'importance des eaux souterraines en tant que ressources et en tant que milieux aux aquatique liés milieux superficiels, réserver leur exploitation en priorité aux usages qualitativement exigeants, valoriser leurs potentialités et notamment, en tenant compte de leur vulnérabilité, celles des aquifères Karstiques, développer leur gestion raisonnée.